

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnheilkunde  
und medizinische Werkstoffkunde (Direktor: Univ.-Prof. Dr. R. Biffar) im  
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
(Geschäftsführender Direktor: Univ.-Prof. Dr. R. Biffar)  
der Universitätsmedizin der Ernst-Moritz-Arndt-  
Universität Greifswald

## **Retrospektive Nachuntersuchung von Miniimplantaten zur Stabilisierung von Teilprothesen**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung  
des akademischen Grades

Doktor der Zahnmedizin  
(Dr. med. dent.)

der  
Universitätsmedizin  
der  
Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

2018

vorgelegt von: Jörn Kobrow  
geb. am: 05.01.1964  
in: Schwerin

Dekan: Prof. Dr. rer.nat. Max P. Baur  
1. Gutachter: Prof. Dr. Th. Mundt  
2. Gutachter: Prof. Dr. R. G. Luthardt

Ort, Raum: Hörsaal ZZMK, Walther-Rathenau-Str. 42 a, Greifswald  
Tag der Disputation: Dienstag, 2.Juli 2019, 14 Uhr

## Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	III
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	V
<b>1 Einleitung</b> .....	1
<b>2 Literaturübersicht</b> .....	3
2.1 Strategische Pfeilervermehrung mit konventionellen Implantaten .....	3
2.2 Implantatstabilität .....	4
2.3 Sofortbelastung von Standard-Implantaten für abnehmbaren Zahnersatz .....	7
2.4 Röntgenologische Bestimmung des marginalen Knochenniveaus .....	8
2.5 Miniimplantate .....	9
2.5.1 Indikationen für Miniimplantate .....	9
2.5.2 Verarbeitung von Miniimplantaten .....	10
2.5.3 Klinische und röntgenologische Studien zu Miniimplantaten .....	11
2.5.4 Prothetische Komplikationen bei miniimplantatgestützten Deckprothesen .....	17
2.5.5 Stabilität von Miniimplantaten .....	18
2.5.6 Lebensqualität und Zufriedenheit nach Therapie mit Miniimplantaten .....	19
2.6 Fragestellungen/ Hypothesen .....	21
<b>3 Material und Methoden</b> .....	22
3.1 Patienten .....	22
3.2 Implantate .....	23
3.3 Untersuchungsparameter .....	26
3.4 Untersucher und Untersuchungszeitpunkte .....	33
3.5 Statistische Auswertung .....	33
<b>4 Ergebnisse</b> .....	35
4.1 Patienten .....	35
4.2 Implantate und prothetische Versorgungen .....	36
4.3 Implantat- und Zahnüberleben .....	40

4.4	Nachsorgeaufwand Suprakonstruktionen .....	43
4.5	Ergebnisse der klinischen Nachuntersuchung .....	44
4.6	Mundgesundheitsbezogene Lebensqualität (OHIP-G14) .....	51
4.7	Zufriedenheit mit der prothetischen Versorgung .....	52
4.8	Röntgenologische Änderungen des marginalen Knochenniveaus .....	54
<b>5</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>57</b>
5.1	Kernaussagen und Limitationen .....	57
5.2	Implantat- und Zahnüberleben .....	59
5.3	Nachsorgeaufwand Suprakonstruktion .....	61
5.4	Klinische Nachuntersuchung .....	62
5.5	Mundgesundheitsbezogene Lebensqualität und Zufriedenheit .....	64
5.6	Röntgenologische Knochenniveauänderungen .....	66
5.7	Schlussfolgerungen .....	67
	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>68</b>
	<b>Summary</b> .....	<b>71</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>73</b>
	<b>Anlagen</b> .....	<b>84</b>
	<b>Eidesstattliche Erklärung</b> .....	<b>93</b>
	<b>Lebenslauf</b> .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
	<b>Danksagung</b> .....	<b>94</b>

## Abbildungsverzeichnis

	<u>Seite</u>
Abbildung 1: Konfiguration von Implantaten und Matrizen des MDI-Systems....	24
Abbildung 2: Postoperative Panoramaschichtaufnahme eines Patienten zur Pfeilervermehrung im Unterkiefer .....	25
Abbildung 3: Klinisches Bild des Patienten aus Abb. 2 und die umgearbeitete Prothese mit Housings .....	25
Abbildung 4: Indikationsklassen und Empfehlungen zur Pfeilervermehrung mit MDI auf Quadrantenebene nach Kiefer .....	27
Abbildung 5: Stößel des Periotest-Gerätes im Winkel von 90° zum Implantat und Abstand von 1,5 mm zur Kugelmitte .....	30
Abbildung 6: Smartpeg aufgeschraubt auf ein MDI bereit zur Osstell-Messung ..	30
Abbildung 7: Osstell-Basisgerät und Sonde am Smartpeg für die Messung positioniert .....	31
Abbildung 8: Patientin mit Indikationsklasse 0 im Oberkiefer auf Grund des zahnlosen 2. Quadranten mit 3 MDI und zusätzlich ein optionales MDI im 1. Quadrant. ....	37
Abbildung 9: Klinische Bilder 4 Jahre nach Implantation aus der Nachuntersuchung der Patientin aus Abb.8 .....	37
Abbildung 10: Verteilung der Implantate auf die Zahnregionen des Ober- und Unterkiefers .....	39
Abbildung 11: Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate nach Kiefer .....	40
Abbildung 12: Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate nach Rauchgewohnheiten der Studienteilnehmer .....	41
Abbildung 13: Überlebenswahrscheinlichkeit der Zähne in den Studienkiefern .....	43
Abbildung 14: Boxplots der Periotest-Werte nach Kiefer .....	47
Abbildung 15: Boxplots der Implantatstabilitätsquotienten (ISQ- Osstell)-Werte nach Kiefer .....	48
Abbildung 16: Graphische Darstellung des Zusammenhanges zwischen Periotest und Osstell-Werten .....	48
Abbildung 17: Boxplots der Periotest-Werte nach Durchmesser und Kiefer .....	50

---

Abbildung 18: Boxplots der Osstell-Werte nach Durchmesser und Kiefer .....	51
Abbildung 19: Häufigkeiten der Periotest -Werte.....	64
Abbildung 20: Häufigkeiten der Osstell-Werte.....	64

## Tabellenverzeichnis

	<u>Seite</u>
Tabelle 1: Studien zu einteiligen Miniimplantaten (Durchmesser < 3 mm) im zahnlosen Unterkiefer (mehrere Veröffentlichungen einer Studie zusammengefasst) .....	13
Tabelle 2: Prothetische Komplikationen und Nachsorgemaßnahmen nach Prothesenstabilisierung mit Miniimplantaten .....	18
Tabelle 3: Alter der Studienteilnehmer zum Zeitpunkt der Implantation im Oberkiefer .....	35
Tabelle 4: Alter der Studienteilnehmer zum Zeitpunkt der Implantation im Unterkiefer .....	36
Tabelle 5: Anamnestische Charakteristika der Studienteilnehmer .....	36
Tabelle 6: Häufigkeiten der Indikationsklassen zur Pfeilervermehrung auf Kiefebene nach Kiefer .....	37
Tabelle 7: Zeit zwischen Erstimplantation und Nachuntersuchung nach Kiefer in Jahren .....	38
Tabelle 8: Anzahl der Implantate pro Kiefer zum Zeitpunkt der Erstimplantation .....	38
Tabelle 9: Cox Regressionsanalysen für die Implantatverluste von Patienten mit Studienunterkiefer und für alle Patienten und Ereignisse. ....	42
Tabelle 10: Reparaturmaßnahmen bei Prothesen nach Kiefer .....	43
Tabelle 11: Modifizierter Plaqueindex (mod. PI) der Implantate nach Kiefer .....	44
Tabelle 12: Modifizierter Plaqueindex (mod. PI) der Zähne nach Studienkiefer ....	44
Tabelle 13: Modifizierter Sulkusblutungsindex (mod. SBI) der Implantate nach Kiefer .....	45
Tabelle 14: Modifizierter Sulkusblutungsindex (mod. SBI) der Zähne nach Kiefer .....	45
Tabelle 15: Maximale Sondierungstiefen an den Implantaten .....	45
Tabelle 16: Maximale Sondierungstiefen an den Zähnen .....	46
Tabelle 17: Periotest-Werte nach Studienkiefer .....	46

Tabelle 18:	Osstell-Werte nach Studienkiefer .....	47
Tabelle 19:	Periotestwerte im Oberkiefer nach Durchmesser .....	49
Tabelle 20:	Periotestwerte im Unterkiefer nach Durchmesser .....	49
Tabelle 21:	Osstell-Werte im Oberkiefer nach Durchmesser .....	50
Tabelle 22:	Osstell-Werte im Unterkiefer nach Durchmesser .....	51
Tabelle 23:	OHIP-G14-Summscore bei den Studienteilnehmern mit MDI im Oberkiefer nach Geschlecht .....	52
Tabelle 24:	OHIP-G14-Summscore bei den Studienteilnehmern mit MDI im Unterkiefer nach Geschlecht .....	52
Tabelle 25:	Antworten auf die Fragen zur Zufriedenheit mit der Prothese bei den Studienteilnehmern nach Kiefer .....	53
Tabelle 26:	Summscores aus den Fragen zur Zufriedenheit mit der Prothese bei den Studienteilnehmern nach Kiefer .....	53
Tabelle 27:	Änderungen des mesialen und distalen Knochenniveaus an den MDI pro Jahr .....	54
Tabelle 28:	Häufigkeiten des Umfangs von Änderungen des mesialen und distalen Knochenniveaus an den MDI pro Jahr .....	55
Tabelle 29:	Mixed Models (gemischte Modelle) für das Knochenniveau an Implantaten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung mit der Exposition mittlere Sondierungstiefe an Zähnen .....	56



## 1 Einleitung

Die komplikationslose Osseointegration von Titan in den Kieferknochen wurde erstmalig in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts beobachtet.<sup>1</sup> Zunächst wurden konventionelle zweiteilige Implantate (Durchmesser > 3,5 mm) verwendet, um zahnlose Kiefer festsitzend prothetisch zu versorgen. Dazu wartete man die Osseointegration der Implantatschrauben im Kieferknochen ab, bis sie nach Standardprotokoll 3 bis 6 Monate später mit dem Abutment versehen und belastet wurden.<sup>2</sup> Später kamen andere Indikationen wie festsitzende Versorgungen teilbezahnter Kiefer und herausnehmbare Versorgungen zahnloser Kiefer hinzu. Unter bestimmten Voraussetzungen insbesondere einer ausreichenden primären Stabilität werden Standarddurchmesser-Implantate inzwischen sofort belastet.<sup>3, 4</sup> Eine Indikation, die in den letzten Jahren an Bedeutung gewann, ist die Insertion von sogenannten strategischen Implantaten zur besseren Abstützung von herausnehmbaren Teilprothesen.<sup>2, 5-12</sup>

Der im Knochen verankerte Teil der Implantate selbst wurde im Laufe der Zeit in seinen Dimensionen verändert. Neben kurzen Implantaten (< 10 mm) wurde auch der Implantatdurchmesser verkleinert, um sich dem ortständigen Knochenangebot ohne zusätzliche Augmentationen anpassen zu können.<sup>13</sup> Die Verkleinerung des Durchmessers stößt aus Stabilitätsgründen jedoch an Grenzen, dies gilt vor allem für Implantate, die für eine unbelastete Einheilung eigentlich zweiteilig sein sollten.<sup>13, 14</sup>

Seit mehr als 20 Jahren werden einteilige Miniimplantate mit selbstschneidendem Gewinde, einer Kugelpfverankerung und einem Durchmesser von 1,8 – 2,8 mm vornehmlich zur Fixierung von totalen Prothesen als Alternative zu konventionellen Implantaten eingesetzt.<sup>15</sup> Miniimplantate wurden zunächst als temporäre Lösung zur Prothesenstabilisierung entwickelt<sup>15-18</sup> oder dienen der temporären Verankerung für kieferorthopädische Zahnbewegungen.<sup>19</sup> Inzwischen haben sie sich als definitive Implantate zur Verankerung totaler Unterkiefer-Prothesen auch nach sofortiger Belastung durch die Deckprothese klinisch bewährt.<sup>13, 20, 21</sup> Miniimplantate werden zudem in zahnlosen Oberkiefern und für festsitzende Restaurationen bei reduziertem Knochenlager eingesetzt. Jedoch existieren nur sehr wenige Studien zum festsitzenden Zahnersatz<sup>22</sup> und die bisherigen klinischen Erfolgsraten von Miniimplantaten zur

Verankerung totaler Oberkiefer-Prothesen sind widersprüchlich. Sofortbelastung von Miniimplantaten führt im Oberkiefer zu inakzeptabel hohen Verlustraten von über 20% in den ersten beiden Jahren,<sup>23, 24</sup> wohingegen eine Reduzierung der anfänglichen Lasteinleitung durch die Prothese z. B. durch eine weichbleibende Unterfütterung in den ersten drei Monaten nach Insertion zu besseren Ergebnissen führt.<sup>25</sup>

Es gibt wenige Berichte über den Einsatz von Miniimplantaten als zusätzliche Pfeiler zur besseren Abstützung von herausnehmbarem Zahnersatz.<sup>26, 27</sup> Aussagekräftige klinische Studien zu dieser Indikation liegen bisher noch nicht vor.

Ziel dieser retrospektiven Nachuntersuchung war es deshalb, die klinische Performance von Miniimplantaten zur Stabilisierung von herausnehmbaren Teilprothesen im Ober- und Unterkiefer nach einer Funktionsperiode von wenigstens 3 Jahren bei Patienten aus einer Zahnarztpraxis zu bewerten. Weiterhin sollten patientenzentrierte Kriterien wie die Zufriedenheit mit der Prothese und den Implantaten, sowie Knochenabbauraten ermittelt werden.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Strategische Pfeilervermehrung mit konventionellen Implantaten

Konventionelle oder Standard-Implantate mit einem Durchmesser von  $\geq 3,5$  mm sind in der Regel zweiteilig und wurden in den unterschiedlichsten Bereichen in den vergangenen Jahren optimiert. Bessere Oberflächen, ein verbessertes chirurgisches Handling und eine verkürzte Behandlungsdauer konnte so erreicht werden.<sup>28, 29, 30</sup>

Standard-Implantate dienen der Stabilisierung von totalen Prothesen mit verschiedenen Halteelementen wie Kugelanker, Locatoren, Magnete, Teleskope und Stege. Weiterhin bieten sie als Pfeiler für festsitzende Suprakonstruktionen die Möglichkeit, herausnehmbaren Zahnersatz oder die Präparation von Zähnen für Brücken zu vermeiden<sup>2</sup>. In einer weiteren Indikation können sie als zusätzliche, sogenannte strategische Pfeiler helfen, eine bessere Abstützung für herausnehmbare Teilprothesen bei ungünstiger Restzahnverteilung zu schaffen und die natürlichen Stützpfeiler gleichzeitig zu entlasten<sup>5-9, 11, 12, 31-36</sup>. Strategische Implantate unter herausnehmbaren Prothesen zeigen Überlebensraten von mehr als 90%, die Implantaten in anderen Indikationen entsprechen.<sup>7, 10, 11, 33, 35-38</sup> Als Retentionselemente dienen in erster Linie Kugelanker<sup>6, 8, 11, 12, 32, 33, 38</sup> und Doppelkronen.<sup>7, 9, 31, 34, 36</sup> Die strategischen Implantate wurden entweder dorsal zur Abstützung von Prothesen mit Freundsätteln verwendet<sup>5, 11, 32, 33, 38, 39</sup> oder aber zur Pfeilervermehrung bei stark reduzierter bzw. nur noch einseitig vorhandener Restbezahnung.<sup>6-8, 12, 31, 34, 36, 40</sup> Die Implantate können vor der prothetischen Neuversorgung inseriert werden, dann häufig in Verbindung mit Doppelkronen zur Abstützung auf natürlichen und künstlichen Pfeilern. Eine andere Möglichkeit ist ihre nachträgliche Einarbeitung unter eine vorhandene Prothese, dann jedoch in der Regel mit Kugelankern als Haltelemente. Im longitudinalen Verlauf wurde in verschiedenen Studien gezeigt, dass nachträglich inserierte strategische Implantate zur Stabilisierung von Teilprothesen die Patientenzufriedenheit mit dem Zahnersatz<sup>5, 11, 33, 38-40</sup>, die mundgesundheitsbezogene Lebensqualität<sup>12, 41</sup> und das Kauvermögen<sup>32, 33, 38, 42, 43</sup> signifikant erhöhen.

Konventionelle Implantate sind in ihrem Einsatz durch ihre Dimension bei schmalen Kieferkämme limitiert. Um Augmentationen zu vermeiden, wurden daher durchmesserreduzierte zweiteilige Implantate (2,8- 3,5 mm) für Patienten mit schmalen Kieferkämme bzw. engen Lücken entwickelt.<sup>13</sup> Nach dem chirurgischen Eingriff sollte deren prothetische Versorgung erst nach ihrer Osseointegration erfolgen.<sup>2</sup> Einige zweiteilige durchmesserreduzierte Implantate sind in der Indikation begrenzt und dienen in erster Linie zur Aufnahme von Einzelkronen oder sind nur in ver-blockten Rekonstruktionen zu verwenden.<sup>13</sup> Die Verkleinerung des Implantatdurchmessers für zweiteilige Implantate ist begrenzt, da die Abutments mit den Implantaten verschraubt sind. Je dünner die Schrauben oder je graziler die Implantat- oder Abutmentwandungen, desto geringer ist die Bruchfestigkeit und desto höher ist die Frakturgefahr.<sup>44</sup> Auf der Suche nach neuen, einfachen Implantatversorgungen wurden deshalb einteilige Miniimplantate für die Stabilisierung von Prothesen in Erwägung gezogen.

## **2.2 Implantatstabilität**

Die primäre Implantatstabilität wird direkt nach der Insertion in den Knochen erreicht und resultiert aus dem aktuell vorliegenden Implantat-Knochen-Kontakt. Die primäre Stabilität ist abhängig von der Knochenqualität (Anteil kortikaler und spongöser Knochen, Größe der Markräume), vom Design des Implantates (Abmessungen, Form, Gewindekonfiguration), der Implantatoberfläche (Rauigkeit) und von der Aufbereitung des Implantatbettes.<sup>45-47</sup> So kann durch eine unvollständige Aufbereitung des Bohrstollens die primäre Stabilität des Implantates erhöht werden. Dies wird am einfachsten dadurch erzielt, indem der Gewindeschnitt entfällt oder finale Aufbereitungsinstrumente mit geringerem Durchmesser als das Implantat verwendet werden.<sup>46</sup> Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Knochen vor der Insertion mittels Osteotomen zu verdichten.<sup>45</sup>

Die sekundäre Stabilität entwickelt sich in der Einheilphase zwischen 2 und 6 Monaten durch die direkte Knochenanlagerung an die enossale Implantatoberfläche nach Knochenumbauvorgängen, dem sogenannten „Bone remodeling“.<sup>48</sup> Normalerweise werden zweiteilige Standard-Implantate erst belastet, wenn die sekundäre Stabilität

erreicht und die Osseointegration abgeschlossen ist.<sup>2</sup> Bei ausreichender primärer Stabilität besteht jedoch auch die Möglichkeit zur Sofortbelastung der Implantate.<sup>47</sup> Die sekundäre Stabilität entsteht trotz funktioneller Belastung in der Einheilphase durch die Suprakonstruktion. Mikrobewegungen über 100 µm können jedoch die Osseointegration negativ beeinflussen.<sup>45, 47</sup>

Zur Messung der primären Implantatstabilität werden verschiedene Parameter verwendet. Die einfachste Methode ist die Bestimmung des finalen Eindrehmoments mittels eines Schlüssels, der vom Hersteller zur Verfügung gestellt wird. Die primäre und auch die sekundäre Stabilität bzw. Festigkeit der Implantate können mittels Periotest- und Osstell- Messung ermittelt werden.<sup>49</sup> Das Periotestverfahren ist elektromechanischer Natur. Ein elektrisch angetriebener und elektronisch überwachter Stößel perkutiert das Messobjekt in 4 Sekunden 16 Mal. Der Stößel hat einen drucksensitiven Kopf, der die Kontaktzeit mit dem Objekt (Implantataufbau, Zahnkrone) registriert. Je lockerer das Implantat (oder der Zahn), desto länger ist die Kontaktzeit und desto größer ist der Periotestwert. Für eine gültige und aussagefähige Messung muss der Stößel korrekt positioniert werden, d. h. das Implantat/der Zahn sollte möglichst senkrecht ausgerichtet sein und der Stößel im Winkel von 90° also waagrecht und möglichst an derselben Stelle bei wiederholten Messungen auf das Objekt treffen. Die Periotestwerteskala reicht von -8 bis +50. Laut Hersteller (Medizintechnik Gulden, Modautal, Deutschland) können die Werte für Implantate wie folgend interpretiert werden: < 0: Minuswerte sind generell gut, das Implantat ist gut osseointegriert; 0 bis + 9: Eine klinische Überprüfung ist erforderlich, > +9: Verdächtig bis alarmierend- das Implantat ist nicht ausreichend osseointegriert. Folgende Interpretationen der Werte werden vom Hersteller für die Lockerungsgrade 0 bis III für Zähne vorgegeben: 0: -8 bis +9, I: 10 bis 19, II: 20-29, III > 29.

Mit der Resonanzfrequenzanalyse (RFA) können Osstell-Werte an Implantaten erhoben werden. Das Prinzip der RFA beruht auf der Messung einer Amplitudenänderung der Implantat-Knochen-Einheit infolge einer durch das Messgerät erzeugten Schwingung (Eigenresonanz), die ein Frequenzband durchläuft. Es wird ein Messkopf (Smartpeg) mit zwei Piezoelementen wie ein Abutment auf oder in das Implantat geschraubt und der Messvorgang gestartet. Die handbediente Sonde

stimuliert den SmartPeg magnetisch, ohne mit ihm verbunden zu sein oder ihn zu berühren, indem es magnetische Impulse abgibt. Diese Impulse lassen den SmartPeg, je nach Stabilität des Implantats, in bestimmten Frequenzen schwingen. Die Resonanz wird vom Osstell-Messgerät aufgenommen. Der Implantatstabilitätsquotient (ISQ) ist die Maßeinheit der RFA. Sie gibt die Resonanzfrequenz (kHz) auf einer klinisch nutzbaren Skala von 1-100 ISQ an. Je höher der ISQ desto größer ist die Stabilität des Implantates. Der Hersteller (Osstell, Göteborg, Schweden) schlägt den Anwendern folgende Interpretation der Werte vor: < 60: Implantat ist unter Risiko, nicht belasten; 60-70 mittlere Stabilität, ab 65 Sofortbelastung für verblockte Suprakonstruktionen, > 70 hohe Stabilität, Sofortbelastung auch für Einzelzahnversorgungen möglich.

Da die Werte zwischen den Systemen (unterschiedliche Durchmesser, Materialien, Implantat-Abutment-Verbindungen) und unterschiedliche Knochenqualitäten streuen, können keine exakte Werte angegeben werden, bei denen für Standard-Implantate eine ausreichende primäre oder sekundäre Stabilität (Osseointegration) vorausgesagt werden kann.<sup>50</sup> Oh und Kim<sup>51</sup> konnten jedoch einen signifikanten Zusammenhang zwischen schlechter Knochenqualität (Grad 4 nach Lekholm und Zarb<sup>52</sup>) und geringen ISQ-Werten ( $56,8 \pm 6,0$ ) bzw. hohen Periotestwerten ( $3,1 \pm 2,6$ ) nachweisen. ISQ und Periotest zeigten in dieser Studie eine signifikant negative Korrelation zueinander.

In einer Metaanalyse zu Messmethoden der Implantatstabilität<sup>49</sup> wurde nur ein klarer Zusammenhang zwischen Eindrehmoment und Osstell (ISQ)-Werten festgestellt. Der Zusammenhang zwischen Periotestwerten einerseits und Eindrehmoment bzw. Osstell-Werten andererseits waren hingegen uneinheitlich. In einer Studie von Wentaschek *et al.*<sup>53</sup> hatte das Eindrehmoment die höchste Spezifität und eine hohe Sensitivität als prognostischer Faktor für zukünftige Implantatverluste nach Sofortversorgungen im Oberkiefer verglichen mit dem Osstell und Periotest-Verfahren. Beide Verfahren scheinen jedoch sehr gut für longitudinale Kontrollen durch wiederholte Messungen am selben Implantat geeignet zu sein, um Veränderungen der Stabilität objektiv zu erfassen.<sup>50</sup>

### 2.3 Sofortbelastung von Standard-Implantaten für abnehmbaren Zahnersatz

Branemark *et al.*<sup>1</sup> forderten eine gedeckte Einheilungsphase von 3-6 Monaten, in der die Implantate nicht zu belasten sind. Diese Phase ohne Belastungskräfte sollte die Remineralisierung des Knochens um die Implantatoberfläche fördern, bevor die Prothese die Implantate funktionell beansprucht.<sup>1, 54, 55</sup> Nachteile der Spätbelastung sind die Wartezeit, eine häufig erforderliche Interimsversorgung, die die Insertionsstelle belasten oder sogar die Osseointegration negativ beeinflusst und die Notwendigkeit eines zweiten Eingriffs zur Implantatfreilegung. Um die Therapie für den Patienten zu beschleunigen, wurde die Sofortbelastung eingeführt. Die wichtigste Voraussetzung hierfür ist eine ausreichende primäre Stabilität der Implantate, die am einfachsten mit dem finalen Eindrehmoment eingeschätzt werden kann. Dieser sollte nach Meinung der meisten Autoren mindestens 35 Ncm betragen.<sup>4, 45, 56</sup>

In einem umfangreichen Review der Cochrane Collaboration<sup>56</sup> zu randomisierten klinischen Vergleichen von Sofort- und Spätbelastung wurden keine Unterschiede zwischen beiden Modalitäten hinsichtlich Implantat- oder Prothesenüberleben bei konventionellen Implantaten gefunden. Die Knochenabbaurate scheint bei sofortbelasteten Implantaten sogar etwas geringer zu sein als bei spätbelasteten Implantaten. Dieser signifikante Unterschied von 0,1mm wurde aus den verfügbaren Studien berechnet, ist nach Meinung der Autoren klinisch jedoch kaum von Relevanz. Zu einem anderen Ergebnis kamen zwei andere Metaanalysen,<sup>4, 57</sup> die nach Sofortbelastung ein höheres Verlustrisiko als nach konventioneller Belastung fanden. Schimmel *et al.*<sup>4</sup> betrachteten hierbei ausschließlich Deckprothesen in zahnlosen Kiefern und ermittelte mittels Forest Plot eine Tendenz zu mehr Verlusten nach Sofortbelastung von mindestens 2 Implantaten im Unterkiefer. Für die Stabilisierung von Oberkiefer-Deckprothesen wurde keine abschließende Aussage aus Mangel an aussagekräftigen Studien zum Vergleich Sofort- versus Spätbelastung getroffen. Für eine Sofortbelastung im zahnlosen Oberkiefer sollten jedoch wenigstens 4 Standard-Implantate inseriert werden.<sup>58</sup> In einer weiteren Literaturübersicht wurde für die Sofortbelastung aus prothetischer Sicht empfohlen, die Implantate möglichst primär mit einem Steg oder einer festsitzenden Versorgung zu verblocken, um die Belastung zu verteilen und Mikrobewegungen  $> 100 \mu\text{m}$  während der Osseointegration zu

vermeiden.<sup>54</sup> Andere Autoren konnten zu mindestens für den Unterkiefer zeigen, dass Sofortbelastungen durch Deckprothesen auch mit Einzelattachments wie Kugellankern und Teleskopen sehr gute Überlebensraten aufweisen.<sup>4, 59</sup> Im Oberkiefer sind vor allem die Knochenhöhe im Bereich des Sinus maxillaris bzw. der Nasenhöhle und die Knochenqualität limitierende Faktoren für eine Sofortbelastung.<sup>59</sup> Im Vergleich zum Unterkiefer ist im Oberkiefer der kortikale Knochen dünner und die Spongiosa besitzt größere Markräume. Dies führt insgesamt zu einer reduzierten Knochendichte<sup>60</sup> und daraus resultierend zu einer durchschnittlich geringeren primären Stabilität der Implantate.<sup>59</sup> In der schon erwähnten prospektiven Studie zur Sofortbelastung mit feststehendem Zahnersatz im Oberkiefer ermittelten Wentaschek *et al.*<sup>53</sup> dass eine reduzierte primäre Stabilität der Implantate (Eindrehmoment < 12 Ncm) ein signifikant prognostischer Faktor für spätere Implantatverluste war.

Wird ausschließlich der Knochenabbau als Kriterium für die Wahl des Belastungsmodus herangezogen, so scheinen Sofort- und Spätbelastung konventioneller dentaler Implantate keine Unterschiede bei longitudinalen Messungen aufzuweisen.<sup>61</sup> Zur Sofortbelastung von Implantaten zur Pfeilvermehrung für abnehmbare Teilprothesen wurden bisher noch keine Studien veröffentlicht.

## **2.4 Röntgenologische Bestimmung des marginalen Knochenniveaus**

Um den marginale Knochenniveauänderungen mesial und distal an Implantaten zu dokumentieren, wird der intraorale Zahnfilm in Rechtwinkeltechnik mit individualisiertem Filmhalter als Goldstandard gefordert.<sup>62, 23, 63</sup> Die Individualisierung des Filmhalters soll eine identische Lage des konventionellen Zahnfilms oder digitalen Sensor zum Objekt dienen. Außerdem werden Überlagerungen mit anderen anatomischen Strukturen wie bei Panoramaschichtaufnahmen vermieden und die Darstellung ist zeichnungsschärfer. Nachteile dieser Methode sind der hohe Aufwand, mehrmalige Aufnahmen (mit mehreren Filmhalterindividualisierungen) bei multiplen Implantationen in verschiedenen Kieferregionen, die Individualisierung und korrekte Positionierung des Filmhalters im zahnlosen Kiefer bei Implantaten mit Kugellankern und die schwierige Platzierung des Films/Sensors bei starker Atrophie des zahnlosen Unterkiefers.<sup>64</sup>



Deshalb wurde in anderen Studien Panoramaschichtaufnahmen für die Messungen verwendet.<sup>65, 66</sup> Diese Aufnahmetechnik hat verglichen mit intraoralen Zahnfilmen eine gute Übereinstimmung bei der Einschätzung des marginalen Knochenniveaus an Zähnen<sup>67</sup> und Implantaten.<sup>68</sup> In einer Studie zur Bestimmung des Knochenniveaus an Implantaten wurde geschlussfolgert, dass die Panoramaschichtaufnahme ebenso gut geeignet ist wie ein intraoraler Zahnfilm, den marginalen Knochen-Implantat-Kontaktpunkt zu detektieren.<sup>68</sup> Die Intra- und Inter-Untersucher Übereinstimmungen waren ausreichend jedoch nicht exzellent.

## **2.5 Miniimplantate**

### **2.5.1 Indikationen für Miniimplantate**

Der Einsatz von Miniimplantaten mit einem Durchmesser von  $< 2,8\text{mm}$  beschränkte sich zunächst auf die provisorische Abstützung von Interimsersatz nach Extraktionen, Implantationen oder Augmentationen in zahnlosen Kieferabschnitten.<sup>15</sup> Weiterhin können sie als Widerlager für kieferorthopädische Bewegungen dienen.<sup>19</sup> Im Zuge der definitiven Versorgung der Standard-Implantate und nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung wurden die Miniimplantate wieder entfernt. In den USA praktizierende Zahnärzte bemerkten, dass Miniimplantate auch über die temporäre Phase hinaus die Osseointegration nicht verlieren, sondern aktiv entfernt werden mussten. Deshalb wurden sie in den 1990er Jahre zur definitiven Abstützung von Brücken bzw. Einzelkronen oder zur Fixierung von herausnehmbarem Zahnersatz bei sehr schmalen Kieferkämme oder in engen Schallücken genutzt.<sup>27, 69</sup> Die amerikanische Food and Drug Administration (FDA) gab sie im Jahre 1997 für diese Indikationserweiterung frei.<sup>70</sup> Miniimplantate sind aufgrund ihrer Dimension bis auf wenige Ausnahmen<sup>14</sup> einteilig, so dass eine belastungsfreie Einheilung unmöglich ist.<sup>71</sup> Ihre Vorteile liegen neben der Vermeidung von Augmentationen auch auf den Verzicht von ausgedehnten Mukoperiostlappen zur Insertion, da sie entweder transgingival inseriert werden oder nur kleine Zugänge zur Darstellung des krestalen Alveolarfortsatzes sogenannte Minilappen („Mini-Flaps“) präpariert werden.<sup>66</sup> Zusammen mit der verkürzten Operationsdauer können dadurch postoperative Wundheilungsstörungen, Schmerzen, Schwellungen und Blutungen verringert werden.<sup>72</sup> Für Patienten, deren Knochenangebot nicht der Platzierung konventioneller

Implantate ohne Augmentationen entspricht, sind Miniimplantate eine hilfreiche Therapiealternative<sup>73, 74, 75, 16, 76, 27</sup> und die Kosten können von 20% bis zu 50% unter den Standard-Implantaten liegen.<sup>77</sup> Die Kostenreduktion beruht auf die geringeren Herstellungskosten der einteiligen Schrauben mit integriertem Abutment, auf die verkürzte aktive Behandlungszeit und dem übersichtlichen Instrumentarium.<sup>70</sup> Die intraossären Gewindelängen beginnen wegen des geringen Durchmessers bei 10 mm um eine ausreichende intraossäre Verankerungsfläche zu erreichen. Für die Fixierung von totalen Prothesen werden im Oberkiefer wenigstens 6 und im Unterkiefer 4 Miniimplantate empfohlen.<sup>23, 25, 44, 70</sup> Diese Empfehlung ist jedoch durch wissenschaftliche Daten noch nicht belegt.<sup>78-82</sup>

### **2.5.2 Verarbeitung von Miniimplantaten**

Das knöcherne Implantatlager wird in Abhängigkeit von der Knochenqualität nur mit einem dünnen Pilotbohrer aufbereitet und im Anschluss wird der enossale Anteil mit selbstschneidendem Gewinde ähnlich einer Holzschraube mit unterschiedlichen Handinstrumenten (Rändel- und Flügelschraubendreher) und abschließend mit einer Drehmomentratsche unter Druck nach apikal in den Alveolarknochen eingedreht. Die Insertionsinstrumente greifen hierfür über einem unterhalb der eigentlichen Fixierungsmatrize gelegenen Vierkant, Hexa- oder Octagon. Herausnehmbarer Zahnersatz wird hauptsächlich mit Kugellankermatrizen fixiert und festsitzender Zahnersatz wird in der Regel auf Vierkantpfosten zementiert. Die Aufbereitungstiefe mit dem Pilotbohrer sollte bei weichem Knochen (dünne Kompakta, weitporige Spongiosa) nicht mehr als die Hälfte der Schraubenlänge betragen, aber auch bei hartem Knochen (dicke Kompakta, engmaschige Spongiosa) sollte dafür möglichst nicht die gesamte Schraubenlänge erreicht werden.<sup>83</sup> Da einteilige Miniimplantate nicht belastungsfrei einheilen können, ist ihre Anwendung bei sehr weichem Knochen (D4 nach Misch<sup>84</sup>) oder in Verbindung mit augmentativen Maßnahmen kontraindiziert. Da der Knochen aufgrund der Implantatmindestlänge eine ausreichende Höhe von über 10 mm aufweisen muss, ist eine Insertion in der Molarenregion bei zahnlosen Patienten selten möglich. Frakturen der dünnsten MDI (1,8mm) während der transmukosalen Insertion oder Spätfrakturen sind zwar seltene Ereignisse (<1%), werden jedoch verschiedentlich erwähnt.<sup>71, 25, 85, 22</sup> Zur prothetische

Versorgung können die Matrizen direkt nach der Implantation in die vorhandenen Prothesen eingearbeitet werden, indem sie intraoral auf die Kugelköpfe aufgesteckt und danach mit Kaltpolymerisat in die zuvor ausgefräste Prothese einpolymerisiert werden.<sup>25, 27</sup> Die Einarbeitung der Matrizen kann auch über Abformung und Modell mit Implantatanalogen im Labor erfolgen oder aber über den Weg einer kompletten Neuanfertigung der Prothese. Falls nur eine geringe intraossäre Festigkeit auf Grund einer eingeschränkten Knochenqualität erreicht wird (Eindrehmoment eines Miniimplantates  $< 35$  Ncm), empfehlen einige Hersteller und Autoren, nach dem Ausfräsen der Prothese über den Implanaten zunächst nur eine weichbleibende Unterfütterung der Basis mit Ummantelung der Kugelköpfe.<sup>25, 86</sup> Dadurch wird die Belastung der frisch inserierten Miniimplantate reduziert. Nach 3- 4 erfolgt erst die Belastung mit den Matrizen. Eine andere Möglichkeit, eine Überlastung der Miniimplantate in der Einheilphase zu verhindern, besteht darin, die über den Kugelköpfen ausgefräste Prothese einige Monate so zu belassen.<sup>80</sup>

### 2.5.3 Klinische und röntgenologische Studien zu Miniimplantaten

Mittlerweile gibt es zahlreiche Studien (Tabelle 1) und einige Reviews, die gute kurz- und mittelfristige Überlebensraten von Miniimplantaten zur Prothesenstabilisierung im Unterkiefer belegen können.<sup>20, 13,21, 82, 87</sup> Hingegen sind klinische Studien zu einteiligen Miniimplantaten mit mehr als 5 Jahren Beobachtungszeit sehr selten.<sup>88</sup> Im jüngsten systematischen Review von 24 prospektiven Studien berechneten Lemos *et al.*<sup>82</sup> eine durchschnittliche Verlustrate der Miniimplantate zur Stabilisierung totaler Unterkieferprothesen von ca. 4,9% nach einer mittleren Beobachtungszeit von 2,5 Jahren (Spanne 1-7 Jahre). Die Überlebensraten der Implantate bewegten sich größtenteils zwischen 95 und 100%.<sup>24, 64, 73, 85, 88-92</sup> Es gab jedoch auch Studien mit Verlustraten von 10% und mehr.<sup>79, 81, 83, 86</sup> So wurden in einer prospektiven randomisierten Studie mit drei Therapiearmen in der 1. Gruppe jeweils 4 und in der 2. Gruppe jeweils 2 Miniimplantate sofortbelastet und mit einer 3. Gruppe (Kontrolle) verglichen, bei der zwei Standard-Implantate erst nach 3 Monaten mit den Unterkiefer-Deckprothesen und Kugelankern spätbelastet wurden.<sup>79</sup> Alle Mini- und Standard-Implantate hatten eine intraossäre Länge von 10 mm. Die Überlebensraten der Implantate betrugen nach einem Jahr 89%, 82% und 99% in den Gruppen 1, 2 und 3.

Die hohen Verlustraten in den Miniimplantat-Gruppen könnten durch ihre Länge verursacht worden sein. In zahlreichen anderen Studien mit besseren Resultaten im zahnlosen Unterkiefer hatten sofortbelastete Miniimplantate eine Mindestlänge von 12 mm.<sup>22, 24, 58, 64, 73, 78, 80, 81, 83, 85, 86, 88-95</sup>

**Tabelle 1:** Studien zu einteiligen Miniimplantaten (Durchmesser < 3 mm) im zahnlosen Unterkiefer (mehrere Veröffentlichungen einer Studie zusammengefasst)

Autor(en) Jahr	Studientyp	Anzahl Patienten/ Implantate	Implantate pro Kiefer	Belastung	Zeit (Jahre)	Überleben Implantate (%)	Knochenabbau 1. Jahr (mm)	weitere Parameter
Bulard und Vance 2005 <sup>83</sup>	retrospektiv (5 Zentren)	k.A. / 1029	k.A.	sofort Kugel	0,5-8	91,2 (69-94 pro Zentrum)	k.A.	Kompl.
Griffiths <i>et al.</i> 2007 <sup>73</sup>	retrospektiv (Fragebogen)	29/116	4	sofort Kugel	0,5	97,4	k.A.	-
Cho <i>et al.</i> 2007 <sup>96</sup>	prospektiv	10/34	2-4	weichbleibend unterfüttert	0,2	94,1	k.A.	-
Jofre <i>et al.</i> 2010 <sup>97, 81, 98</sup>	prospektiv randomisiert	23/46 22/44	2 2	sofort Steg sofort Kugel	2 2	97,8 90,9	0,76± 0,55 1,09± 0,91	Einfluss Verbindungselement, Beißkraft, Kompl.
Elsyad <i>et al.</i> 2011 <sup>64</sup> , 2015 <sup>99</sup>	prospektiv	28/112	4	sofort Kugel	3	96,4 (92,9 Erfolg)	1,20± 0,96	PI, GI, ST, Periotest, Kompl., Patienten- zufriedenheit (5 Jahre)
Scepanovic <i>et al.</i> 2012 <sup>85</sup> , 2015 <sup>63</sup>	prospektiv	30/120	4	sofort Kugel	1	95,9 (3 Frakturen während Insertion)	0,40± 1,24	Kompl., Periotest
Shatkin und Petroto 2012 <sup>22</sup>	retrospektiv	k.A./ ca. 1070	k.A.	sofort Kugel	1-12	90,9	k.A.	-
Proteasa <i>et al.</i> 2014 <sup>24</sup>	prospektiv	16/74	4-6	sofort Kugel	3	100	k.A.	Kompl., Patientenzufriedenheit

SI: Standard-Implantat, L: Länge, D: Durchmesser, PI: Plaqueindex, GI: Gingivalindex, ST: Sondierungstiefe, OHRQoL: Oral health related quality of life (mundgesundheitsbezogene Lebensqualität), Kompl.: Komplikationen, m: mesial, d: distal, k.A.: keine Angabe

Fortsetzung nächste Seite

Autor(en) Jahr	Studientyp	Patienten/ Implantate	Implantate pro Kiefer	Belastung	Zeit (Jahre)	Überleben Implantate (%)	Knochenabbau 1. Jahr (mm)	weitere Parameter
Omran <i>et al.</i> 2013 <sup>95</sup>	prospektiv randomisiert	7/28	4	sofort Kugel früh (6 Wochen) Kugel	1	100	1,02±0,12 0,94±0,01	GI, ST
Maryod <i>et al.</i> 2014 <sup>86</sup>	prospektiv, randomisiert	15/60 15/60	4 4	sofort Kugel spät Kugel (7 Tage ohne, dann 3 Monate weichbleibend unterfüttert)	3 3	91,7 96,7	1,03±0,61 0,93±0,52	PI, GI, ST
Mangano <i>et al.</i> 2015 <sup>90</sup>	prospektiv	62/231	3-4	sofort Kugel	4	96,9%	0,38±0,20	Kompl.,
de Souza <i>et al.</i> , 2015 <sup>72, 79</sup>	prospektiv, randomisiert	35/140 36/72 35/70	4 (L=10mm) 2 (L=10mm) 2 SI	sofort Kugel sofort Kugel spät Kugel	1 1 1	89% 82% 99%	k.A.	postoperative Schmerzen, OHRQL, Patientenzufriedenheit, Kompl., PI, GI, ST
Catalan <i>et al.</i> 2015 <sup>88</sup>	prospektiv	7/14	2	verzögert sofort Kugel (nach 15 Tagen)	7	100%	k.A.	Prothesenretention, Patientenzufriedenheit
Mundt <i>et al.</i> 2015 <sup>25, 66</sup>	retrospektiv (9 Praxen)	95/402	4-6	88,5% sofort Kugel 11,5% zunächst 3 Monate weichbleibend unterfüttert	4	95,7% (4 Frakturen, davon 2 während Insertion)	im Mittel 0,5 /Jahr	Kompl., Patientenzufriedenheit, OHRQoL
Persic <i>et al.</i> 2016 <sup>100</sup>	retrospektiv	50/200 56/112 16/32	4 2SI 2SI	sofort Kugel spät Locator spät Steg	3-5	k.A.	k.A.	OHRQoL, PI, GI,

SI: Standard-Implantat, L: Länge, D: Durchmesser, PI: Plaqueindex, GI: Gingivalindex, ST:  
Sondierungstiefe, OHRQoL: Oral health related quality of life (mundgesundheitsbezogene  
Lebensqualität), Kompl.: Komplikationen, m: mesial, d: distal, k.A.: keine Angabe

Fortsetzung nächste Seite

Autor(en) Jahr	Studientyp	Patienten/ Implantate	Implantate pro Kiefer	Belastung	Zeit (Jahre)	Überleben Implantate (%)	Knochenabbau 1. Jahr (mm)	weitere Parameter
Schwindling und Schwindling 2016 <sup>26</sup>	retrospektiv	21/84	4	sofort Kugel	7	4 Verluste (2 Frakturen während Insertion)	k.A.	Kompl.,
Batisse <i>et al.</i> 2016 <sup>93</sup>	prospektiv	11/44	4	sofort Kugel	0,4	k.A.	k.A.	OHRQoL, Kaufunktion (Testnahrung, Partikelgröße) Beißkraft,
Hasan <i>et al.</i> 2016 <sup>94</sup>	prospektiv nicht randomisiert	16/70 10/33	4-5 2-4 SI	sofort Kugel spät Kugel	k.A.	k.A.	k.A.	
Enkling <i>et al.</i> 2017 <sup>89</sup>	prospektiv	20/80	4	sofort Kugel	1	100	k.A.	OHRQoL, Kaueffizienz , Beißkraft
Zygogiannis <i>et al.</i> 2016 <sup>92</sup>	prospektiv	10/40	4	sofort Kugel	1,5	k.A.	1,05 ± 0,81 m 1,02 ± 0,70 d	OHRQoL, Patientenzufriedenheit
Aunneungdong <i>et al.</i> 2017 <sup>78</sup>	prospektiv randomisiert	20/80 20/40 20/40	4 (D: 3mm) 2 (D: 3mm) 4 SI	sofort locatorähnlich sofort locatorähnlich spät locatorähnlich	1	100 100 100	0,53 ± 0,41 0,60 ± 0,45 1,33 ± 0,67	Kompl., Patientenzufriedenheit, Resonanzfrequenzanalyse,
Temizel <i>et al.</i> 2017 <sup>91</sup>	prospektiv nicht randomisiert	22/99 10/35	4-5 2-4 SI	sofort Kugel spät Kugel	2	100 1 Verlust	k.A.	Kompl., Periotest, PI, BOP
Jawad <i>et al.</i> 2017 <sup>80</sup>	prospektiv randomisiert	20/40 22/44	2 2 SI	früh (2 Monate) Kugel früh (2 Monate) Kugel	0,5	1 Verlust 100	k.A.	OHRQoL, Kaufunktion, Patientenzufriedenheit, primäre und sekundäre Kosten, postoperative Schmerzen

SI: Standard-Implantat, L: Länge, D: Durchmesser, PI: Plaqueindex, GI: Gingivalindex, ST:  
 Sondierungstiefe, OHRQoL: Oral health related quality of life (mundgesundheitsbezogene  
 Lebensqualität), Kompl.: Komplikationen, m: mesial, d: distal, k.A.: keine Angabe

In einer retrospektiven Analyse von Miniimplantat-Verlusten zur Stabilisierung von totalen Prothesen gingen 10 mm lange Miniimplantate signifikant häufiger verloren als Miniimplantate mit mindestens 13 mm Länge.<sup>101</sup> Die geringe Anzahl von nur zwei kurzen Miniimplantaten könnte für die vielen Verluste (18%) in der 2. Gruppe mitverantwortlich sein. Diese Vermutung wird durch die Ergebnisse der Studie von Jofre *et al.*<sup>81</sup> unterstützt. Bei einem randomisierten Vergleich von jeweils zwei sofortbelasteten 12 mm langen Miniimplantaten, die Deckprothesen entweder mit einem primär verblockten Steg oder mit Kugelankern abstützten, betrug die Überlebensrate in der Steggruppe fast 98% und in der Kugelankergruppe nur 91%. In anderen Studien mit zwei Miniimplantaten zur Abstützung totaler Unterkieferprothesen lagen hingegen die Implantat-Überlebensraten mit 100%<sup>88</sup> oder 98%<sup>80</sup> höher. In diesen Studien wurden die Implantate jedoch entweder verzögert versorgt<sup>88</sup> oder sie wurden spätbelastet.<sup>80</sup>

Marginale Knochenabbauraten an Implantaten sollten im ersten Jahr 1,5 mm nicht überschreiten und danach nicht mehr als 0,2 mm pro Jahr betragen.<sup>2, 65</sup> Die höheren Knochenabbauraten im ersten Jahr werden mit dem Knochenumbauvorgängen (Bone remodeling) kurz nach der Implantation und der prothetischen Belastung erklärt. Die mittleren Knochenabbauraten an Miniimplantaten zur Stabilisierung von totalen Unterkieferprothesen schwankten zwischen 0,4 und 1,2 mm (Tabelle 1) und lagen somit unter dieser empfohlenen Obergrenze. Nur wenige Autoren verfolgten den Knochenabbau nach dem ersten Jahr.<sup>64, 86, 90, 97</sup> Die gemittelten Werte lagen in diesen Studien unterhalb der geforderten 0,2 mm.

Im Gegensatz zum zahnlosen Unterkiefer sind die bisherigen Daten zu Verlusten und zum Knochenabbau von Miniimplantaten im zahnlosen Oberkiefer größtenteils ernüchternd. Elsyad *et al.*<sup>23</sup> verglichen randomisiert nach der Insertion von jeweils 6 Miniimplantaten und Sofortbelastung im Oberkiefer 10 Patienten, die im Prothesen mit voller Gaumenbedeckung trugen (Gruppe 1), mit 9 Patienten, bei denen die Prothesen am Gaumen stark rationiert wurden (Gruppe 2). Die Überlebens- und mittleren Knochenabbauraten betrugen in Gruppe 1 78,4% bzw. 5,38 mm und in Gruppe 2 53,8% bzw. 6,29 mm nach 2 Jahren.

Preoteasa *et al.*<sup>24</sup> berichten ebenfalls von multiplen Verlusten (n=8) bei 2 von 7 Patienten nach Sofortbelastung von jeweils 5 Miniimplantaten im Oberkiefer. Die



Verluste wurden bei einer Patientin auf die schlechte Knochenqualität (D3-D4 nach Misch<sup>84</sup>) und bei der anderen Patientin auf okklusale Überlastung durch Parafunktionen zurückgeführt. Die prospektiven Beobachtungen werden durch eine retrospektive Studie von Shatkin und Petrotto<sup>22</sup> bestätigt, die nach 3,5 Jahren (1-12 Jahre) durchschnittlicher Beobachtungsdauer von ca. 2300 sofort belasteten Miniimplantaten eine Implantat-Überlebensrate von 90,9% im zahnlosen Unterkiefer und 85,2% im zahnlosen Oberkiefer berechneten. Nach einem früheren Bericht aus derselben Arbeitsgruppe scheint der Erfolg auch abhängig von der Kieferregion zu sein: Miniimplantate in der posterioren Maxilla zeigen eine geringere Erfolgsrate als die im Bereich der anterioren Maxilla platziert wurden (posterior: 88,9% vs. anterior 93,3%). In der Mandibula hingegen waren keine Unterschiede zu beobachten (posterior: 96,5% vs. anterior: 96%).<sup>27</sup> Diese Unterschiede können aus der unterschiedlichen Knochenqualität der Mandibula und Maxilla resultieren.<sup>60</sup> In einer retrospektiven Analyse von 738 Miniimplantaten zur Stabilisierung von totalen Prothesen in 9 deutschen Zahnarztpraxen betrug das kumulative 4-Jahres-Überleben 94,3% im Oberkiefer und 95,7% im Unterkiefer.<sup>25</sup> Der geringe, nicht signifikante Unterschied zwischen den Kiefern könnte daraus resultieren, dass über die Hälfte der Oberkiefer-Implantate nicht sofort mit den Matrizen belastet wurden. Wenn ein Implantat ein Eindrehmoment  $< 35$  Ncm aufwies, wurde die betreffende Prothese für 3-4 Monate zunächst nur weichbleibend unterfüttert. Die durchschnittlichen marginalen Knochenabbauraten nach einer mittleren Beobachtungszeit von 2,3 Jahren betrugen im Oberkiefer mit 0,8 mm und im Unterkiefer 0,5 mm jedoch ohne statistisch signifikante Unterschiede.<sup>66</sup>

#### **2.5.4    Prothetische Komplikationen bei miniimplantatgestützten Deckprothesen**

Unter den prothetischen Komplikationen in den verfügbaren Studien waren Lockerungen der Matrizengehäuse und Prothesenbasisfrakturen relativ häufige unerwünschte Ereignisse (Tab. 2).

**Tabelle 2:** Prothetische Komplikationen und Nachsorgemaßnahmen nach Prothesenstabilisierung mit Miniimplantaten

Autor(en) Jahr	Anzahl Prothesen	Zeit	Neuan- fertigung	Matrizenlockerung oder Austausch retentive Elemente	Unter- fütterung	Prothesen- basis- fraktur
Scepanovic <i>et al.</i> 2012 <sup>85</sup>	30 UK	1	0	0/0	8	3
Preoteasa <i>et al.</i> 2014 <sup>24</sup>	7 OK/ 16 UK	3	0	8/k.A.	k.A.	8
Mangano <i>et al.</i> 2014 <sup>90</sup>	62 UK	4	0	k.A.	6	2
Mundt <i>et al.</i> 2015 <sup>25</sup>	54OK/ 95 UK	Mittel: 2,3 (1-6)	0	4/29	28	26
Elsyad 2015 <sup>99</sup>	28 UK	5	4	9/125 Matrizen	10	8
Schwindling und Schwindling 2016 <sup>26</sup>	21 UK total 4 UK partiell	Mittel 2,5 (1-7)	0	0/5	4	6
Aunmeungtong <i>et al.</i> 2016 <sup>78</sup>	40 UK	1	6	26/24	7	6
Temichel <i>et al.</i> 2017 <sup>91</sup>	22 UK	2	0	0/4	11	0

OK: Oberkiefer, UK: Unterkiefer, k.A. keine Angabe

Oftmals war die Fraktur im Bereich des Gehäuses lokalisiert und durch eine einfache Reparatur in der Regel zu beheben.<sup>24, 25</sup> Durch die Einpolymerisation der Matrizen in die vorhandenen totalen Prothesen ohne Metallgerüste wird die Kunststoffbasis in diesem Bereich insgesamt geschwächt.<sup>24-26</sup> Das Auswechseln der retentiven Elemente der Matrizen (Inserts bzw. O-Ringe) oder Unterfütterungen sollten eher den regelmäßigen Nachsorgemaßnahmen zugerechnet werden und sind nicht als Komplikationen zu werten. In einem randomisierten Trial<sup>78</sup> wurden im Gegensatz zu anderen Studien 6 von insgesamt 40 Unterkiefer-Prothesen schon im ersten Jahr nach der Versorgung neu angefertigt. Ursachen dafür wurden nicht angeführt.

### 2.5.5 Stabilität von Miniimplantaten

Für Miniimplantate wurden inzwischen in einigen klinischen Studien Periotestwerte für den zahnlosen Unterkiefer ermittelt, deren Mittelwerte jedoch untereinander differierten.<sup>63, 64, 91</sup> In der Studie von Scepanovic *et al.*<sup>63</sup> betrug die primäre Stabilität

der Miniimplantate  $-0,27 \pm 3,41$  mm. Die sekundäre Stabilität verminderte sich nach 6 Wochen auf einen mittleren Periotestwert von  $7,61 \pm 7,01$ . Nach 12 Monaten betrug der Mittelwert  $6,17 \pm 6,15$ . In einer anderen Studie mit demselben Miniimplantat-System betrugen die Mittelwerte anfangs  $-3,6 \pm 1,2$  und veränderten sich danach nur wenig ( $-3,7 \pm 1,1$  nach 6 Monaten,  $-3,8 \pm 1,2$  nach 2 Jahren und  $-4,2 \pm 1,2$  nach 3 Jahren).<sup>64</sup> In einem prospektiven Vergleich von Miniimplantaten mit Standard-Implantaten war ein Trend zur Steigerung der Stabilität der Miniimplantate zu beobachten.<sup>91</sup> Die mittleren Periotestwerte stiegen von  $-0,3$  nach der Insertion auf  $-1,4$  nach 6 Monaten. Der Unterschied war jedoch nicht signifikant, da die Einzelwerte zu beiden Zeitpunkten eine große Streuung im Interquartilbereich von  $-4,5$  bis  $+4$  aufwiesen. Die primäre Stabilität der Standard-Implantate war mit mittleren Periotestwerten von  $-4,0$  signifikant höher. Sie änderte sich nach 6 Monaten nur wenig auf  $-4,9$  und wies insgesamt eine geringere Streuung auf (Interquartilbereich  $-6$  bis  $-3$ ).

An Tibia- und -femurknochen von Kaninchen wurde die Eignung von Osstell-Smartpegs für einteilige Miniimplantate überprüft, die auf die Kugeln aufgesteckt und dann mittels einer horizontalen Schraube unterhalb des Kugelkäquators fixiert werden.<sup>102</sup> Die erzielten mittleren Werte von  $53,3$  postoperativ und  $60,5$  nach 6 Wochen waren nur etwas geringer als die Werte, die mit konventionellen Ankylos-Implantaten erzielt wurden ( $58,5$  bzw.  $65,5$ ).

In einer randomisierten klinischen Vergleich wurden erstmals Osstell-Werte für sofortbelastete einteilige Implantate mit einem Durchmesser von  $3,0$  mm im Vergleich zu spätbelasteten Standard-Implantaten (Durchmesser  $3,75$  mm) ermittelt.<sup>78</sup> Über die primäre Stabilität wurde nicht berichtet, die sekundäre Stabilität (ISQ) nach einem Jahr reichte von  $66$  bis  $77,5$  bei den durchmesserreduzierten Implantaten und von  $70$  bis  $76$  bei den Standard-Implantaten ohne statistisch signifikante Unterschiede.

### **2.5.6 Lebensqualität und Zufriedenheit nach Therapie mit Miniimplantaten**

Subjektive Einschätzungen der Patientenzufriedenheit und der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität wurden nach der Insertion von Miniimplantaten bisher ausschließlich bei Patienten mit zahnlosen Unterkiefern<sup>24, 25, 78-80, 88, 89, 91-93, 99, 100</sup> und Oberkiefern<sup>23-25</sup> erhoben. Mundgesundheitsbezogene

Lebensqualität (MLQ) beschreibt das subjektive Erleben der Mundgesundheit durch den Patienten selbst. MLQ ist der Teil der gesundheitsbezogenen Lebensqualität, der sich auf das stomatognathe System bezieht. Sie liefert damit komplementäre Informationen zu klinischen Indikatoren oraler Erkrankungen (z. B. Indices für Karies oder Parodontopathien). Wesentliche Teilbereiche mundgesundheitsbezogener Lebensqualität sind<sup>103</sup>:

1. Funktionseinschränkungen des Kausystems,
2. orofaziale Schmerzen,
3. dentofaziale Ästhetik,
4. psychosozialer Einfluss der Mundgesundheit.

Als Indizes wurden der Global Oral Health Assessment Index (GOHAI),<sup>93</sup> in der Regel jedoch der Oral Health Impact Profile (OHIP-49)<sup>89</sup> mit Fragen zu Funktionseinschränkungen des Kausystems, orofazialen Schmerzen, psychische Beschwerden, psychische, körperliche und soziale Einschränkungen sowie Benachteiligung/Handicap durch die Mundgesundheit mit den Antwortmöglichkeiten von nie (0) bis sehr oft (4) und seine verschiedenen Kurzversionen mit 14 Items (OHIP-14),<sup>25, 100</sup> 20 Items (OHIP-20)<sup>92</sup> und für den zahnlosen Kiefer (OHIP-EDENT)<sup>79, 80</sup> verwendet.

Die Zufriedenheit wurde oftmals mit einem Visuell-Analog-Skalen (VAS) Fragebogen ermittelt. Hierbei wurden die Fragen zur Prothesenretention, Prothesenstabilität, zum Kauvermögen, Sprechen, Komfort und zur allgemeinen Zufriedenheit beantwortet, indem eine Markierung auf einer Strecke mit einer Länge von 0 (unzufrieden) bis 100 mm (sehr zufrieden) gesetzt wurde. Wie bei konventionellen Implantaten auch kam es in den genannten Studien zu einer signifikanten Verbesserung der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität und zur Zufriedenheit mit den totalen Prothesen nach ihrer Stabilisierung mittels Miniimplantaten. Die Zufriedenheit mit der prothetischen Versorgung hielt sogar an, wenn Miniimplantate nachträglich verloren gingen.<sup>23, 24</sup>

In einem randomisierten Vergleich zwischen zwei konventionellen und zwei Miniimplantaten gab es keine relevanten Unterschiede in der Patientenzufriedenheit oder in der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität nach

Prothesenstabilisierungen.<sup>80</sup> In einer anderen randomisierten Studie waren die mundgesundheitsbezogene Lebensqualität und die Patientenzufriedenheit nach Prothesenstabilisierung sowohl mit zwei als auch mit vier Miniimplantaten signifikant höher als mit zwei konventionellen Implantaten.<sup>79</sup> Die Ergebnisse zeigen jedoch auch eine Verschlechterung innerhalb eines Jahres der anfänglichen guten Werte nach 3 Monaten in allen Gruppen. Die höhere Patientenzufriedenheit nach Insertion von zwei oder vier Miniimplantaten gegenüber zwei Standardimplantaten wird durch eine andere randomisierte 1-Jahres-Studie im zahnlosen Unterkiefer bestätigt.<sup>78</sup> Ein weiterer nicht randomisierter Vergleich ergab eine höhere mundgesundheitsbezogene Lebensqualität, wenn im zahnlosen Unterkiefer vier Miniimplantate die Prothese abstützen verglichen mit zwei Standardimplantaten.<sup>100</sup>

## **2.6 Fragestellungen/ Hypothesen**

Ziel der Studie ist es, die klinische Performance von Miniimplantaten zur Stabilisierung von Teilprothesen nach einer Funktionsperiode der Implantate von wenigstens 3 Jahren bei ca. 100 Patienten in einer Zahnarztpraxis zu bewerten, den röntgenologischen Knochenabbau seit der Implantatinserterion zu messen, den Nachsorgeaufwand an den Suprakonstruktionen zu analysieren und die Patientenzufriedenheit mit der Prothese sowie die mundgesundheitsbezogene Lebensqualität zu ermitteln. Entsprechend der Arbeitshypothese wird eine Überlebensrate der Implantate von über 90% nach 5 Jahren Liegedauer, geringe Knochenabbauraten, ein geringer Nachsorgeaufwand für die prothetische Versorgung sowie eine hohe Patientenzufriedenheit und Lebensqualität erwartet. Die Periotestwerte werden wegen des geringen Durchmessers wahrscheinlich höher und die Osstell-Werte niedriger als bei konventionellen Implantaten sein.

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Patienten

Die Studie wurde von der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnheilkunde und medizinische Werkstoffkunde des Universitätsklinikums Greifswald initiiert und durch die Firma 3M Deutschland GmbH finanziell unterstützt. Das Votum der Ethikkommission der Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald wurde am 27.02.2013 unter dem Kennzeichen BB 025/13 erteilt. Es sollten insgesamt 100 Patienten aus einer deutschen Zahnarztpraxis in die klinische Studie einbezogen werden, bei denen bis 2010 mindestens ein Miniimplantat mit Kugelankerretention in mindestens einem Kiefer zur Pfeilervermehrung für eine herausnehmbare Teilprothese inseriert und anschließend in den vorhandenen herausnehmbaren Zahnersatz eingearbeitet oder mit einer neuen Teilprothese versorgt wurden. Die Anzahl der potentiell verfügbaren Patienten stammt aus Angaben der Zahnarztpraxis.

Die Einschlusskriterien für die klinische und röntgenologische Studie waren:

- Mindestalter der Patienten: 18 Jahre
- bis 2010 ein oder mehrere MDI mit Kugelankerretention in mindestens einem Kiefer zur Pfeilervermehrung für eine herausnehmbare Teilprothese inseriert und anschließend in den vorhandenen herausnehmbaren Zahnersatz (klammergeschiebeoder doppelkronenverankert) eingearbeitet oder mit einer neuen Teilprothese versorgt

Die Ausschlusskriterien waren:

- Patienten mit MDI, die ausschließlich nach dem 31.12.2010 inseriert wurden,
- Patienten, denen aus allgemeinmedizinischer Sicht eine Untersuchung nicht zugemutet werden konnte
- Keine schriftliche Einwilligung zur Studienteilnahme

Die Patienten wurden von Mitarbeiter/innen der Praxis telefonisch oder postalisch kontaktiert, ob sie an der Studie teilnehmen würden und dann zum jeweiligen Untersuchungstermin einbestellt.

Jeder Patient wurde über Art und Umfang der Untersuchung nochmals mündlich durch den Untersucher aufgeklärt. Danach gaben die Patienten ihre schriftliche Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie (Anlage).

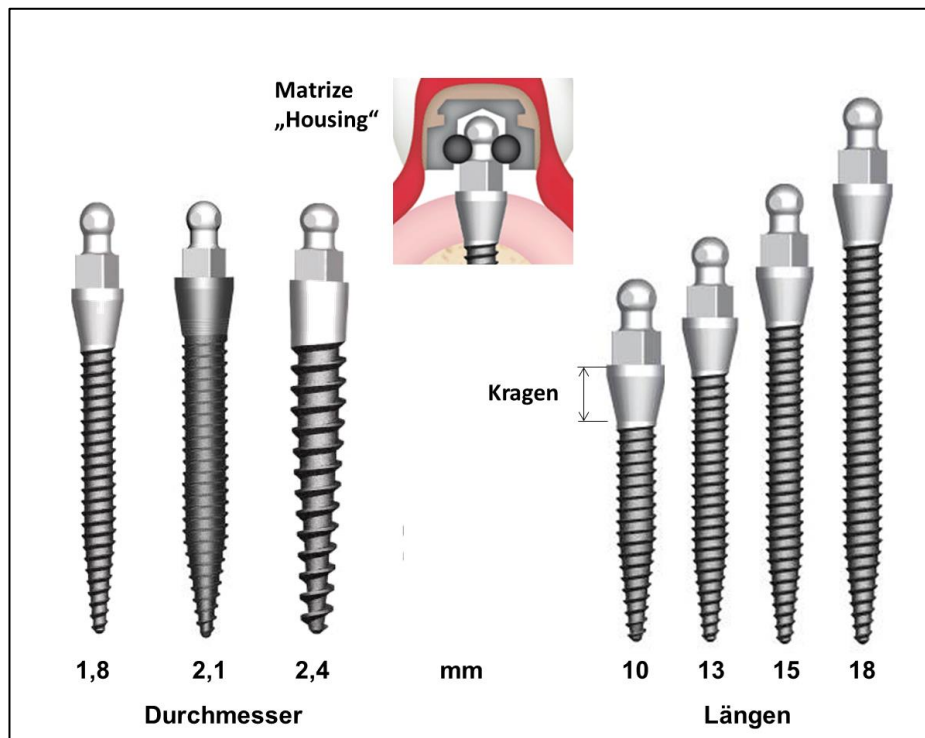
Die für die Studie relevanten Daten wurden auf Untersuchungsbögen erfasst (Anlage). Eine Anleitung zur Datenerhebung ist im Untersucherhandbuch zu finden. Die Auswertung der Daten erfolgte anonym. Die Untersuchung der Patienten wurde in der Patientenkartei der Praxis dokumentiert.

Der Rücktritt von der Teilnahme an der klinischen Untersuchung ist die bewusste Entscheidung des Patienten, nicht an der klinischen Studie teilzunehmen. Von der Bruttostichprobe werden die neutralen Ausfälle (Verstorben, schwer Erkrankte und aus dem Einzugsbereich der Praxis Verzogene) subtrahiert, so dass zur Ermittlung der Response die Differenz= Nettostichprobe herangezogen wird. Ein Drop-out-Ereignis ist der Ausschluss eines Patienten aus der Studie bzw. aus deren Auswertung. Die Kriterien für das Drop-out-Ereignis sind (mehrfache) Nichtwahrnehmung des Untersuchungstermins oder eine Verweigerung zur Teilnahme an der Studie.

### **3.2 Implantate**

Als System wurden Mini Dental Implants (MDI) der Firma 3M ESPE, Seefeld, Deutschland verwendet, die bis dato in den USA produziert wurden (Abb. 1)

Die MDI sind in 3 Durchmessern und 4 Längen zu verwenden. Die beiden kleineren Durchmesser sind eher für die Insertion in dünnen Alveolarfortsätzen mit kortikalem Knochen und wenig Spongiosa (oft im interforaminalen Bereich des Unterkiefers) und die 2,4 mm MDI mit breiteren Gewindegängen für spongiöseren Knochen und dickeren Alveolarfortsätzen geeignet, der häufiger im Oberkiefer vorkommt.

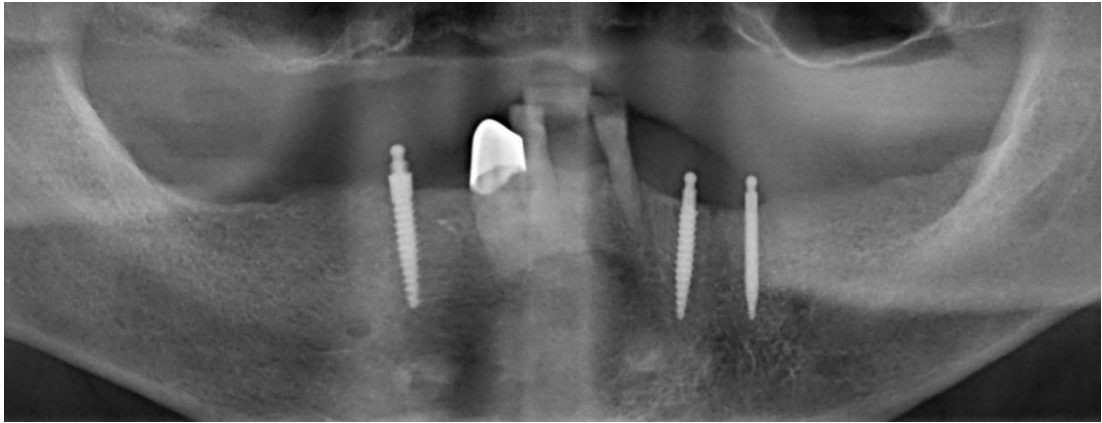


**Abbildung 1:** Konfiguration von Implantaten und Matrizen des MDI-Systems

MDI bestehen aus Stabilitätsgründen aus einer Titan-Aluminium-Vanadium-Legierung. Die Implantate gibt es mit und ohne Kragen, um der Mukosadicke Rechnung tragen zu können. Die Schaffung des Implantatlagers erfolgte entweder transmukosal oder es wurde ein kleiner Mukoperiostlappen gebildet. Zur Aufbereitung wurde ein 1,1 mm dicker Einmal-Pilotbohrer verwendet, der entsprechend der Knochenqualität bis höchstens zwei Drittel der enossalen Implantatlänge zum Einsatz kommen sollte, da die Implantatspitze dünner ausläuft. Bei sehr festem (kortikalem) Knochen wurde ein 1,3 mm dicker Mehrweg-Bohrer eingesetzt. Die Insertion erfolgte nacheinander mit einem Rändelschrauben-, dann mit einem Flügelschraubendreher und abschließend mit einer Drehmomentratsche. Postoperativ wurde eine Panoramaschichtaufnahme zur Kontrolle erstellt.

Bei einem finalen Drehmoment  $< 35$  Ncm empfiehlt der Hersteller, die Prothese über den Kugeln auszufräsen und anschließend für 3 Monate zunächst weichbleibend zu unterfüttern (Material: Secure Soft Reline Kit, 3M ESPE, Seefeld, Deutschland). Bei einem Wert von  $> 35$  Ncm kann eine Sofortbelastung der Implantate erfolgen. Angestrebt wurden im Unterkiefer mindestens 2 Pfeiler (Zahn + MDI) und im Oberkiefer 3 Pfeiler pro Quadrant (Abb. 2).





**Abbildung 2:** Postoperative Panoramaschichtaufnahme eines Patienten zur Pfeilervermehrung im Unterkiefer

Die Matrizen bestehen aus Gehäusen („Housings“), in denen ein Silikonring (O-Ring) eingelassen ist. Der elastische O-Ring gleitet über die Kugel und erzielt dann auf dem Insertionsvierkant unterhalb des Kugeläquators den Matrizenhalt (Abb. 1 und 3). Die Einpolymerisation der Housings in die ausgefräste Teilprothese erfolgte entweder direkt (bei ausreichendem Platzangebot unterhalb der Basis) mit einem intraoral anwendbarem Acrylat (Secure Hard Pick-up, 3M ESPE, Seefeld, Deutschland), häufig jedoch auch indirekt über eine Abformung im Labor mit einem konventionellen Labor-Polymethylmetacrylat.



**Abbildung 3:** Klinisches Bild des Patienten aus Abb. 2 und die umgearbeitete Prothese mit Housings

### 3.3 Untersuchungsparameter

#### *Allgemeine und spezielle Anamnese:*

- Erkrankungen: Diabetes mellitus, Osteoporose, allergische Erkrankungen, Medikamente
- Suchtverhalten: Alkohol, Rauchen  
Da es sich bei den Rauchgewohnheiten um anamnestische Angaben zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung handelt, wurden nur Personen als Nichtraucher klassifiziert, die zum Erhebungszeitpunkt 5 Jahre lang nicht mehr geraucht haben.
- Mundgesundheitsverhalten

#### *Daten aus den Patientenunterlagen:*

##### Patientendaten:

- Geschlecht
- Geburtsdatum
- Alter des Patienten bei Insertion des Implantats

#### *Zahn- und Prothesenstatus zum Zeitpunkt der Implantation:*

- Zahnposition
- Art der prothetischen Versorgung

#### *Klassifikation zur Pfeilervermehrung mit Mini-Implantaten:*

Das Restgebiss wird auf Quadrantenebene von Klasse 0 (keine Zähne im jeweiligen Quadrant sondern nur kontralateral vorhanden) bis Klasse 5 (der Eckzahn und ein weiterer Seitenzahn vorhanden) unterteilt (Abb. 4).<sup>71, 104</sup> Ausgehend von der Anzahl, Position und prothetischen Wertigkeit der verbliebenen Zähne werden strategische Implantate so positioniert, dass die Last auf beide Quadranten eines Kiefers gleichmäßiger verteilt werden kann. Die Anzahl der strategisch günstig stehenden Zähne verringert die Anzahl der erforderlichen Implantate. Im Oberkiefer werden pro Quadrant 3 Pfeiler und im Unterkiefer 2 Pfeiler angestrebt. Optionale Implantate können parodontal oder endodontisch vorgeschädigte Zähne zusätzlich stabilisieren (Abb. 4). In den Klassen 0-3 sind strategische Implantate erforderlich, in den Klassen 4 und 5 (Eckzahn vorhanden) werden nur optionale Implantate geplant.

	<b>Klasse 0</b> • Keine Zähne	<b>Klasse 1</b> • nur Schneidezähne vorhanden	<b>Klasse 2</b> • Eckzahn fehlt • 1 Seitenzahn vorhanden • Schneidezähne ggf. vorhanden	<b>Klasse 3</b> • Eckzahn fehlt • >1 Seitenzahn vorhanden • Schneidezähne ggf. vorhanden	<b>Klasse 4</b> • nur Eckzahn vorhanden • Schneidezähne ggf. vorhanden	<b>Klasse 5</b> • Eckzahn und Seitenzähne vorhanden
<b>Oberkiefer</b>						
<b>Unterkiefer</b>						

● Strategische Implantate      ○ Optionale Implantate

**Abbildung 4:** Indikationsklassen und Empfehlungen zur Pfeilervermehrung mit MDI auf Quadrantenebene nach Kiefer

Die Klassifizierung auf Kieferebene richtet sich im Oberkiefer nach der niedrigsten Klasse aus dem 1. und 2. Quadranten des jeweiligen Studienteilnehmers und im Unterkiefer nach der niedrigsten Klasse aus dem 3. und 4. Quadranten.

*Allgemeine Informationen zum Implantat zum Zeitpunkt der Implantation:*

- Lokalisation (FDI-Code)
- Länge
- Durchmesser
- Typ (mit/ohne Kragen)

*Insertion/Versorgung des Implantates:*

- Datum
- Sofortbelastung (Einarbeitung Housing) oder weichbleibende Unterfütterung
- Zeitpunkt der verzögerten Belastung nach weichbleibender Unterfütterung
- Schwierigkeiten/Komplikationen während (Perforationen etc.) und nach der OP (Einheilung, Schwellungen, Dehiszenzen, Infektionen etc.)

*Ereignisse zwischen Insertion und Nachuntersuchung:*

- Periimplantäre/parodontale Entzündung u. a. Komplikationen
- Karies, Frakturen, Restaurationen an den Pfeilerzähnen
- Implantatfrakturen
- Zeitpunkt Zahn und/oder Implantatverlust
- Ursache Zahn und/oder Implantatverlust
- Re-Implantationen (am selben Ort), Nachimplantationen (anderenorts)

*Informationen zur Suprakonstruktion:*

- Datum der Eingliederung (Alter Prothese zum Zeitpunkt der Implantation)
- Art: mit/ohne Basis, Verankerungselemente
- Erneuerung bzw. Veränderung der Suprakonstruktion (z. B. Reparaturen, Unterfütterungen, Erweiterungen, Austausch von O-Ringen)

*Parameter aus der Kontrolluntersuchung:**Zum Implantat/Zahn:*

- Lokalisation (FDI-Code)
- modifizierter Plaque-Index (Mombelli *et al.* 1987) (v, o): Die Parodontalsonde (Hu-Friedy PCP-12) wird unmittelbar marginal liegende Anteil des Implantates/Zahnes tangential zirkulär entlanggeführt. Die native Plaquebewertung erfolgt pro vestibuläre und pro orale Fläche des Implantates/Zahnes (keine Unterscheidung zwischen mesial/distal).

Grad 0	plaquefrei
Grad 1	Plaquefilm, der nur durch vorsichtiges Entlangstreichen der Sonde zu ermitteln ist
Grad 2	ohne Hilfsmittel sichtbare Plaque am Sulkuseingang
Grad 3	massive Plaque
- modifizierter Sulkus-Blutungs-Index nach Mombelli *et al.* 1987: Wird benutzt, um das Ausmaß der periimplantären/parodontalen Entzündung (Mukositis/Gingivitis) zu bestimmen. Hierfür wird nach vorsichtiges Ausstreichen des Sulkus mit einer

Parodontalsonde (siehe modifizierter Plaqueindex) eine aufgetretene Blutung graduell erfasst:

Grad 0      Keine Blutung

Grad 1:      Isolierte Blutpunkte

Grad 2:      Konfluierende, linienförmige Blutung

Grad 3:      Massive Blutung, Spontanblutung

Die Bewertung erfolgt pro vestibuläre und pro orale Fläche des Implantates/Zahnes (keine Unterscheidung zwischen mesial/distal).

- Sondierungstiefe (mm) = 4 Punkt-Messung (mesiovestibulär, vestibulär, distovestibulär, oral): mit Parodontalsonde (Hu-Friedy PCP-12: 3/6/9/12 mm Skalierung) bei schonungsvoller Sulkussondierung am Implantat (Druck: 0,15 N) und etwas kräftigerer Sondierung am Zahn (Druck: 0,25 N)
- Bleeding on Probing (BOP): Zur Standardisierung sollte keine weitere Sondierung erfolgen. Die Beurteilung erfolgt an den gleichen Punkten wie bei der 4-Punktmessung der Sondierungstiefen und wird nach Verstreichen von ca. 20 s mit „keine Blutung (-)“ oder „Blutung vorhanden (+)“ bewertet.
- Lockerungsgrad Zähne und Implantate (Grad 0: keine Beweglichkeit spürbar, Grad 1: gerade fühlbar gelockert, Grad 2: sichtbare Lockerung von 1-2 mm in horizontaler Richtung, Grad 3: starke Lockerung > 2 mm in horizontaler Richtung, Beweglichkeit auf Zungen und Wangendruck oder in axialer Richtung)

*Periotest (Festigkeitsmessung):*

- Periotest MDI (Abb. 5): Vestibulär im rechten Winkel zum Implantat in Richtung Mitte Kugelkopf, mit ca. 0,7-2,0 mm Abstand vom Kugelkopf (ca. 3 mm Abstand zur Implantatschulter).

Periotest Zahn: Vestibulär im rechten Winkel zum Zahn in Richtung Zahnmitte mit ca. 0,7-2,0 mm Abstand von der Zahn bzw. Kronenoberfläche und ca. 3 mm Abstand zum Gingivalrand.



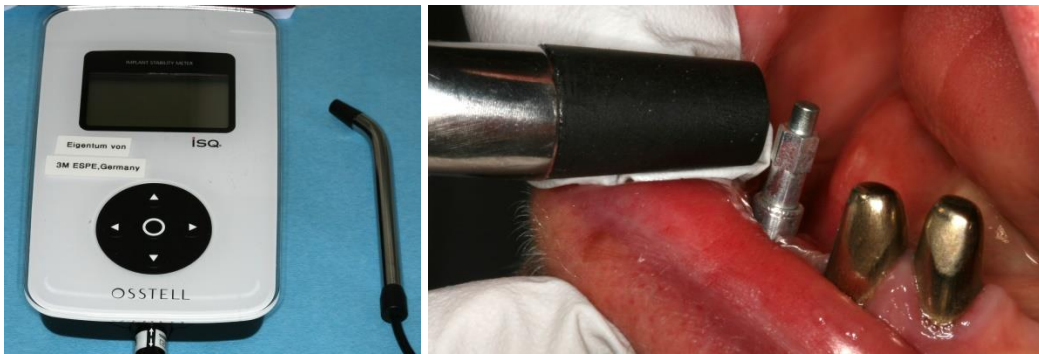
**Abbildung 5:** Stößel des Periotest-Gerätes im Winkel von 90° zum Implantat und Abstand von 1,5 mm zur Kugelmitte

- Osstell-Werte Implantate (Resonanzfrequenzanalyse, Festigkeitsmessung): Ein für MDI von 3M ESPE hergestellter Smartpeg wird dafür auf den Kugelkopf aufgeschraubt und die handbediente Sonde stimuliert den Smartpeg (Abb. 6).



**Abbildung 6:** Smartpeg aufgeschraubt auf ein MDI bereit zur Osstell-Messung

Die Resonanz wird vom Osstell -Messgerät aufgenommen (Abb. 7). Der Implantatstabilitätsquotient (ISQ) gibt die Resonanzfrequenz (kHz) auf einer klinisch nutzbaren Skala von 1-100 ISQ an. Je höher der ISQ desto stabiler ist das Implantat.



**Abbildung 7:** Osstell-Basisgerät und Sonde am Smartpeg für die Messung positioniert

- Anzeichen und Symptome von Schmerz, Infektionen, Neuropathien, Paresthesien
- Weichteilprobleme (Rezession, Fistelbildung)

*Suprakonstruktion:*

- Art (Basis, Halteelemente) Fotodokumentation extraoral
- Der Halt wird vom Untersucher subjektiv bewertet:
  - Kein: Die Prothese besitzt keinerlei Retention
  - Gering: Die Prothese ist durch Lippen-, Wangen- und Zungenbewegungen des Patienten ausgliederbar.
  - Fest: Die Prothese hat ausreichenden Halt und lässt sich manuell ausgliedern.
  - Sehr fest Die Prothese ist nur mit speziellen Hilfsmitteln auszugliedern
  - nicht ausgliederbar: Die Prothese ist seit mehreren Tagen nicht auszugliedern.
- Besonderheiten

*Röntgenbefund:* Erforderlich für eine Röntgenauswertung sind ein Anfangsröntgenbild unmittelbar nach der Insertion der Implantate und ein aktuelles Bild zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.

- Knochenniveau = Abstand oberer Rand Vierkantbasis zum ersten Knochen-Implantat-Kontakt mesial und distal. Die Auswertung der digitalen Orthopantomogramme erfolgt am Bildschirm mit dem Vermessungstool von Sidexis. Als Referenz dient die wahre Länge des Implantates im Verhältnis zur gemessenen Länge auf der Röntgenaufnahme (Strahlensatz).  
Knochenniveauänderung: Differenz postoperatives Röntgenbild – Röntgenbild zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung

- Osseointegration (Knochenanlagerung an das Implantat):
  - +: Die Grenzlinie zwischen enossalen Teil des Implantates und dem Knochen darf keine Aufhellung besitzen.
  - : es ist ein 0,5 mm breiter Aufhellungssaum zwischen enossalen Teil des Implantates und dem Knochen zu erkennen.

*Mundgesundheitsbezogene Lebensqualität: Oral Health Impact Profile (OHIP-G14):*

Der OHIP-G 14 ist eine deutsche Kurzversion des Oral Health Impact Profile<sup>105</sup> und soll einen schnellen Überblick zur Beeinträchtigung durch die Mundgesundheit geben. Die 14 Items mit je zwei Fragen zu (1) Funktionseinschränkungen des Kauystems, (2) orofazialen Schmerzen, (3) psychischen Beschwerden, (4) psychischen, (5) körperlichen, (6) sozialen Einschränkungen und (7) Benachteiligung/Handicap sollen vom Patienten selbstständig beantwortet werden. Die Auswertung erhält man, indem die Antworten mit ihrer Häufigkeitsangabe („nie“ =0, „kaum“ =1, „ab und zu“ =2, „oft“ =3 und „sehr oft“ =4) zu einem Gesamtwert summiert werden. Dieser Wert kann von 0 (alle 14 Fragen mit „nie“ beantwortet) bis 56 (alle Fragen mit „sehr oft“ beantwortet) reichen. Zur Interpretation dieses Gesamtwertes gibt es Referenzwerte. Diese Referenzwerte erlauben eine Bewertung eines individuellen Patienten mit nicht-behandlungssuchenden Vergleichspersonen aus der Durchschnittsbevölkerung.<sup>106</sup> „Typische“ Summenwerte sind beispielsweise 0 für Personen ohne abnehmbaren Zahnersatz, d. h. gewöhnlich geben diese Personen keine Probleme an, ein Gesamtwert von 4 für Personen mit abnehmbaren Teilprothesen und ein Gesamtwert von 6 für Patienten mit Totalprothesen.

*Patientenzufriedenheit (Zufriedenheitsbogen):*

Der Bogen ist ein in deutscher Sprache validierter Selbstbeantwortungsbogen zur Erhebung der Patientenzufriedenheit mit abnehmbarem Zahnersatz.<sup>107</sup> Die Erhebung der Zufriedenheit mit der Prothese der/des Studienkiefer/s wird getrennt nach Ober- und Unterkiefer erhoben. Da die prothetische Versorgung bekannt ist, muss der 1. Teil (Information welche prothetische Versorgung) nicht ausgefüllt werden. Die Antworten auf die einzelnen Fragen zur Lagestabilität, Funktion und Ästhetik werden mit einer Likert-Skale (sehr gut, gut, weder gut noch schlecht, schlecht, sehr schlecht) bewertet.



### 3.4 Untersucher und Untersuchungszeitpunkte

Der Untersucher war ein erfahrener Zahnarzt, der seit mehr als 20 Jahren in eigener Praxis niedergelassen ist. Er wurde im Vorfeld in der Universitätsmedizin Greifswald in die Untersuchungsmethoden durch den Studienleiter eingeführt und trainiert. Seine ersten Untersuchungen von Patienten erfolgten anlässlich eines Kick-off Treffens zu Studien am 17.06.13 in der Studienpraxis unter Anleitung und Kontrolle vom Studienleiter und einem trainierten Untersucher für eine prospektive Pfeilervermehrungsstudie.<sup>71</sup> Alle weiteren Untersuchungen erfolgten in zwei Zeiträumen (21.08.-22.08.13 und 25.11.-27.11.13) in der Studienpraxis durch den Untersucher.

### 3.5 Statistische Auswertung

*Deskriptive Statistik: Häufigkeiten/Kreuztabellen/Boxplot nach*

- Implantat/Zahnlokalisierung (Verteilungsmuster Restbezahnung)
- Verteilung der Studienkiefer bzw. Quadranten auf die Klassen
- Implantatdurchmesser, Implantatlänge
- modifizierter Plaque-Index, modifizierter Sulkus-Blutungs-Index, Blutung nach Sondierung
- Periotestwert/Osstellwert
- Komplikationen (Periimplantitis, Implantatbrüche)
- OHIP-G 14
- Zufriedenheitswerte

*Überlebenswahrscheinlichkeiten:*

- Kaplan-Meier Schätzung mit dem Kriterium „Verlust“
- Vergleich zwischen Subgruppen: Log Rank-Test

*Statistische Tests:*

- Cox Regressionsanalyse zur Ermittlung der Einflussfaktoren die die Überlebensrate beeinflussen
- Mixed Model zur Analyse der Risikofaktoren für erhöhten Knochenabbau

*Abhängige Variablen:*

- Implantat: Länge, Durchmesser, Anzahl, Lokalisation
- Belastungsmodus (sofort versus weichbleibende Unterfütterung)
- Patient: Alter, Geschlecht, Erkrankungen, Gesundheits- und Suchtverhalten, Implantathygiene
- Klassifizierung der Lückengebissituation

Wie in der Literatur üblich beträgt das Signifikanzniveau für statistische Tests 95% ( $\alpha=0,05$ ).

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Patienten

Bis zum 31.12.2010 wurden in der Studienpraxis bei 98 Patienten (35 Männer, 63 Frauen) in 115 Ober- und Unterkiefers MDIs für Pfeilervermehrungen zur besseren Retention von Teilprothesen inseriert. Abzüglich der 28 neutralen Ausfälle (9 Verstorbene, 11 schwer Erkrankte und 8 an einen anderen Ort und/oder unbekannt Verzogene) standen 70 Patienten für eine Untersuchung zur Verfügung. Von diesen verweigerten 13 Patienten ihre Teilnahme an der Studie (18,6% Drop out). Letztendlich wurden 66 Kiefer bei 57 Studienteilnehmern (22 Männer, 35 Frauen) untersucht. Bei den 9 Teilnehmern mit MDI im Ober- und Unterkiefer wurden bei 4 am selben Tag beide Kiefer implantiert, bei den anderen zu verschiedenen Zeitpunkten. Deshalb ist es u. a. sinnvoll, die Kiefer von vornherein bei der weiteren Betrachtung zu trennen. Zum Zeitpunkt der Implantation im Oberkiefer betrug das durchschnittliche Alter der Teilnehmer  $64 \pm 9,7$  Jahre und im Unterkiefer  $66,4 \pm 9,1$  Jahre ohne relevante Geschlechtsunterschiede (Tab.3 u. 4).

**Tabelle 3:** Alter der Studienteilnehmer zum Zeitpunkt der Implantation im Oberkiefer

Kiefer	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Min	1. Quartil	Median	3. Quartil	Max
Männer	12	64,0	9,2	46,7	58,3	63,5	69,8	79,3
Frauen	13	65,4	9,8	54,5	58,3	64,8	66,7	87,5
Total	25	64,7	9,3	46,7	58,3	64,8	69,3	87,5

**Tabelle 4:** Alter der Studienteilnehmer zum Zeitpunkt der Implantation im Unterkiefer

Kiefer	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Min	1. Quartil	Median	3. Quartil	Max
Männer	14	68,1	8,9	48,9	61,4	70,6	74,0	80,3
Frauen	27	65,5	9,3	45,3	59,0	65,7	70,6	89,9
Total	41	66,4	9,1	45,3	60,3	65,9	71,3	89,9

**Tabelle 5:** Anamnestische Charakteristika der Studienteilnehmer

Charakteristikum	Männer (n=22)		Frauen (n=35)		Gesamt (n=57)	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)
Rauchverhalten						
Niemals-Raucher	9	(40,9)	21	(60,0)	30	(52,6)
Ex-Raucher	10	(45,4)	6	(17,1)	16	(28,1)
Raucher	3	(13,6)	8	(22,8)	11	(19,3)
Herz-Kreislauf-Erkrankungen	12	(54,5)	18	(51,4)	30	(52,6)
Diabetes mellitus	3	(13,6)	2	(5,7)	5	(8,8)
Antikoagulantien	7	(31,8)	7	(20,0)	14	(24,6)
Rheumatismus	0	(0)	5	(14,3)	5	(8,8)
Tumorerkrankungen	1	(4,5)	3	(8,6)	4	(7,0)
Anzahl Medikamente pro Tag						
0	9	(40,9)	8	(22,8)	17	(29,8)
1	5	(22,7)	8	(22,8)	13	(22,8)
2	3	(13,6)	6	(17,1)	9	(15,8)
3	2	(9,1)	3	(8,6)	5	(8,8)
>3	3	(13,6)	10	(28,6)	13	(22,8)

Die anamnestischen Charakteristika der Studienteilnehmer ergaben einen geringen Anteil an Rauchern insbesondere unter Männern (Tab. 5). Mehr als die Hälfte der Studienteilnehmer litten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung unter Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Fast 60% der Männer und mehr als drei Viertel der Frauen nahmen regelmäßig Medikamente ein.

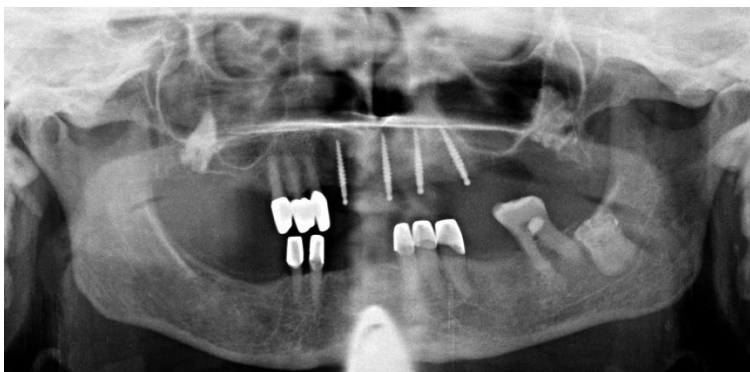
## 4.2 Implantate und prothetische Versorgungen

Wie in Tabelle 6 die Klassifikation auf Kieferebene zeigt, wiesen im Oberkiefer (niedrigste Klasse aus dem 1. und 2. Quadranten) 14 Studienteilnehmer die Indikation für strategische Implantate auf (Klasse 0-3, Beispiel Abb. 8 und 9) und 11 Teilnehmer erhielten ausschließlich optionale Implantate (Klasse 4-5). Von den Unterkiefern

(niedrigste Klasse aus dem 3. und 4. Quadranten) wiesen 28 die Klassen 0 bis 3 und 13 die Klassen 4 und 5 auf.

**Tabelle 6:** Häufigkeiten der Indikationsklassen zur Pfeilervermehrung auf Kieferebene nach Kiefer

Indikationsklasse	Oberkiefer	Unterkiefer	Total
0	5	13	18
1	5	11	16
2	3	4	7
3	1	0	1
4	8	10	18
5	3	3	6
Total	25	41	66



**Abbildung 8:** Patientin mit Indikationsklasse 0 im Oberkiefer auf Grund des zahnlosen 2. Quadranten mit 3 MDI und zusätzlich ein optionales MDI im 1. Quadrant.



**Abbildung 9:** Klinische Bilder 4 Jahre nach Implantation aus der Nachuntersuchung der Patientin aus Abb.8

Die Zeit zwischen Erstimplantation und Untersuchung betrug im Oberkiefer durchschnittlich  $5,5 \pm 1,8$  Jahre und im Unterkiefer  $5,3 \pm 1,9$  Jahre mit einer minimalen

Dauer von 3,1 und einer maximalen Dauer von mehr als 9 Jahren für beide Kiefer (Tab. 7).

**Tabelle 7:** Zeit zwischen Erstimplantation und Nachuntersuchung nach Kiefer in Jahren

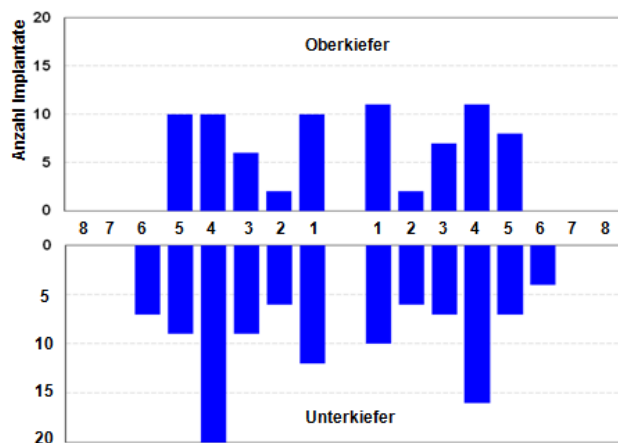
Kiefer	Anzahl	Mittelwert	Standard- abweichung	Min	1. Quartil	Median	3. Quartil	Max
Oberkiefer	25	5,5	1,8	3,1	4,3	5,0	6,3	9,5
Unterkiefer	41	5,3	1,9	3,1	3,7	4,7	6,3	9,7

Im Oberkiefer wurden zum Zeitpunkt der Erstimplantation 77 MDI inseriert und im Unterkiefer 113 MDI. Am häufigsten kamen in beiden Kiefern 2 Implantate zum Einsatz (Tab. 8).

**Tabelle 8:** Anzahl der Implantate pro Kiefer zum Zeitpunkt der Erstimplantation

Anzahl	Oberkiefer		Unterkiefer		Total	
Implantate	Anzahl	(%)	Anzahl	(%)	Anzahl	(%)
1	1	(4)	2	(5)	3	(5)
2	9	(36)	19	(46)	28	(42)
3	6	(24)	9	(22)	15	(23)
4	7	(28)	9	(22)	16	(24)
5	0	(0)	2	(5)	2	(3)
6	2	(8)	0	(0)	2	(3)
Total	25		41		66	

Die MDI besetzten alle Zahnregionen zwischen 15 und 25 und im Unterkiefer die Regionen zwischen 36 und 46 und am häufigsten die Regionen der 1. Prämolaren und der mittleren Schneidezähne (Abb. 10).



**Abbildung 10:** Verteilung der Implantate auf die Zahnregionen des Ober- und Unterkiefers

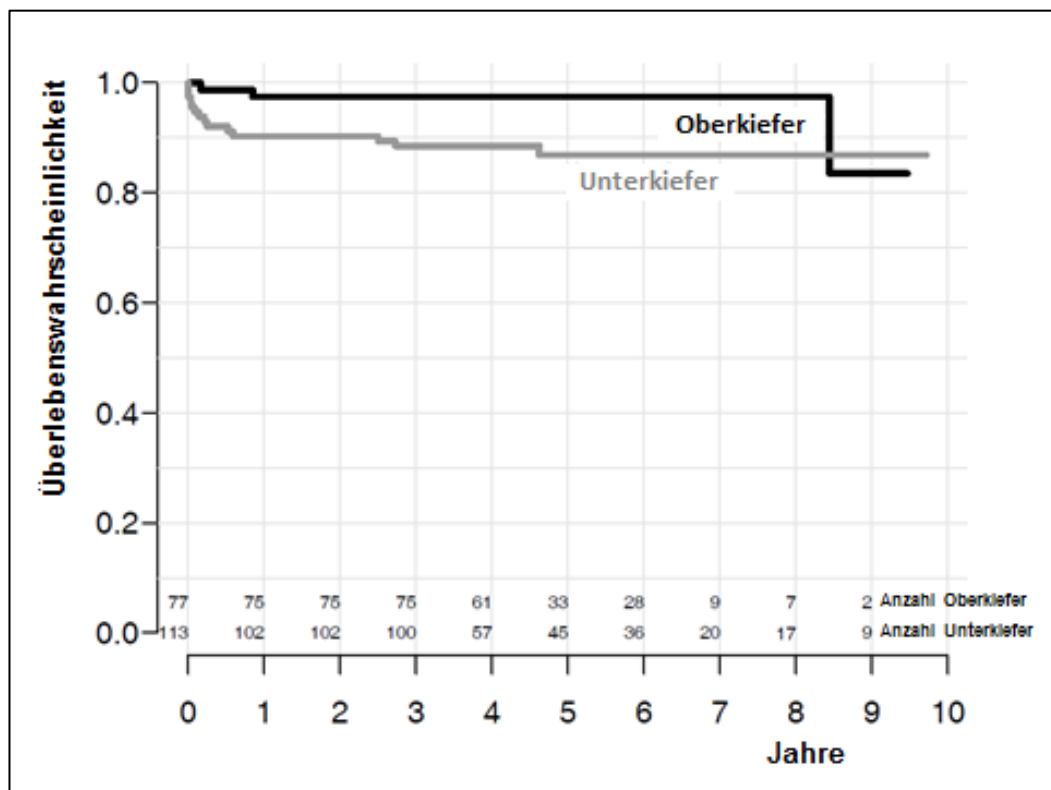
Im Unterkiefer waren 4 MDI und im Oberkiefer 1 MDI 10 mm lang. Die restlichen MDI hatten eine Länge von 13 mm. Im Oberkiefer hatten 6 MDI einen Durchmesser von 1,8 mm, 10 MDI einen Durchmesser von 2,1 mm und die restlichen 61 MDI hatten einen Durchmesser von 2,4 mm. Im Unterkiefer hatten 88 MDI einen Durchmesser von 1,8 mm, 20 MDI einen Durchmesser von 2,1 mm und die restlichen 5 MDI hatten einen Durchmesser von 2,4 mm.

Alle Studienkiefer waren zum Zeitpunkt der ersten strategischen MDI-Pfeilvermehrung mit teleskopierenden Prothesen versorgt, die auf allen oder einigen Restzähnen verankert waren. Neben den 9 Patienten mit Studien-Ober- und Unterkiefen waren die antagonistischen Unterkiefer der restlichen 16 Studien-Oberkiefer mit Telekopprothesen (n=4), klammerverankerte Modellgussprothesen (n=3) und festsitzenden Brücken bzw. Kronen (n=9) versorgt. Die antagonistischen Oberkiefer der restlichen 32 Studien-Unterkiefer waren mit totalen Prothesen (n=14), Teleskopprothesen (n=8), Geschiebeprothesen (n=2), klammerverankerte Modellgussprothesen (n=1), festsitzende Brücken (n=6) und einer rein implantatgetragenen Prothese versorgt. Die MDI von 9 Oberkiefern (36%) und 11 Unterkiefen (26,8%) wurden sofort mit den Housings belastet, die anderen wurden zunächst weichbleibend unterfüttert und nach 3-4 Monaten wurden die Housings in die Prothese einpolymerisiert.

### 4.3 Implantat- und Zahnüberleben

Von den ursprünglich inserierten 190 MDI (77 im Oberkiefer, 113 im Unterkiefer) gingen im Oberkiefer 3 MDI und im Unterkiefer 13 MDI auf Grund von fehlender Osseointegration/späterer Lockerung und ein MDI wegen einer Fraktur verloren (Abb. 11). Die Kaplan-Meier-Kurven zeigen, dass die meisten Ereignisse in den ersten 12 Monaten auftraten. Danach waren nur noch wenige Spätverluste (1 im Ober – und 3 im Unterkiefer) zu verzeichnen. Nach 6 Jahren standen noch ausreichend Implantate für eine Analyse unter Risiko, so dass die 5- bzw. 6-Jahres-Überlebensrate im Oberkiefer 97,4% und im Unterkiefer 86,9% beträgt. Der Unterschied war statistisch signifikant ( $P=0,0481$ ), für den Log-Rank Test konnte die Personenebene jedoch nicht berücksichtigt werden.

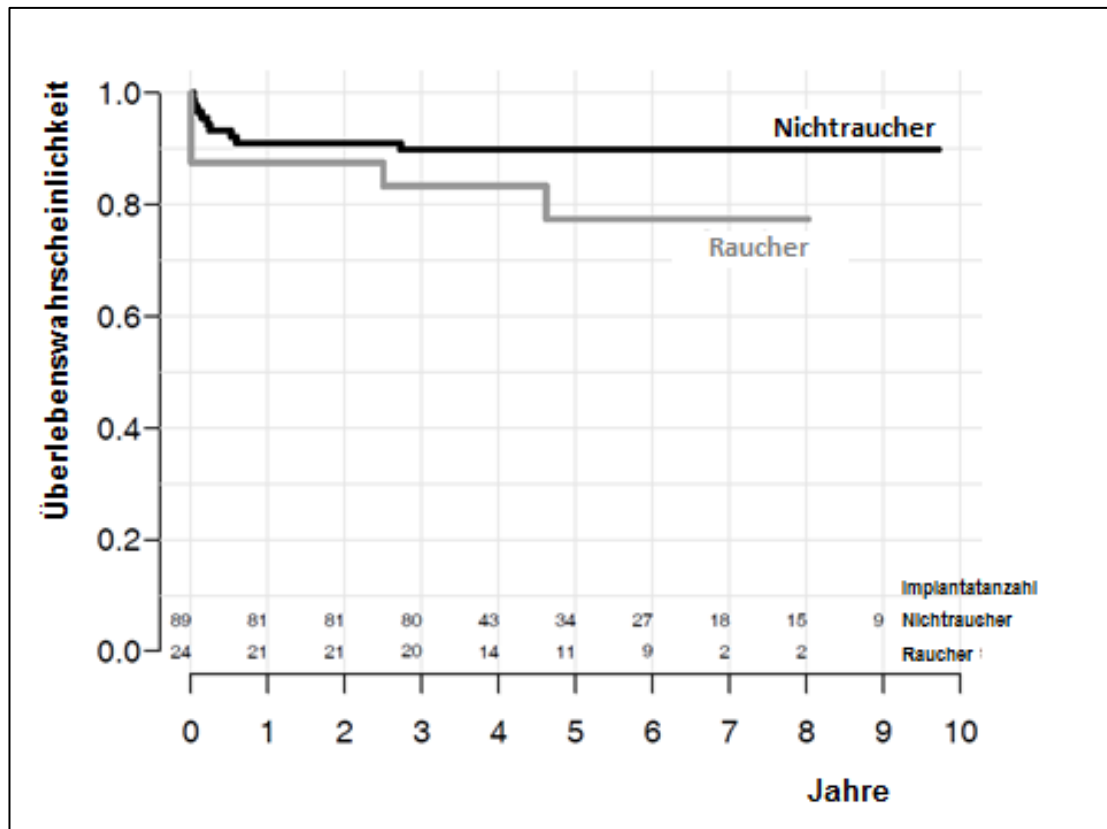
Über die primären Implantationen hinaus wurden nach Zahn- und Implantatverlusten insgesamt 40 MDI (Oberkiefer: 14, Unterkiefer: 26) bei 18 Studienteilnehmern re- bzw. nachimplantiert. Diese flossen jedoch nicht in die Implantat-Überlebensstatistik ein.



**Abbildung 11:** Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate nach Kiefer



Hinsichtlich der anamnestischen Rauchgewohnheiten wurden nur die Daten für die 113 Unterkiefer-Implantate analysiert (Abb. 12). Im Unterkiefer betrug danach die 5-Jahres- Implantatüberlebensrate bei den zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung seit 5 Jahren nicht mehr rauchenden Studienteilnehmern (Nichtraucher) 89,9% und bei den Rauchern 77,4% ( $P=0,1595$ ).



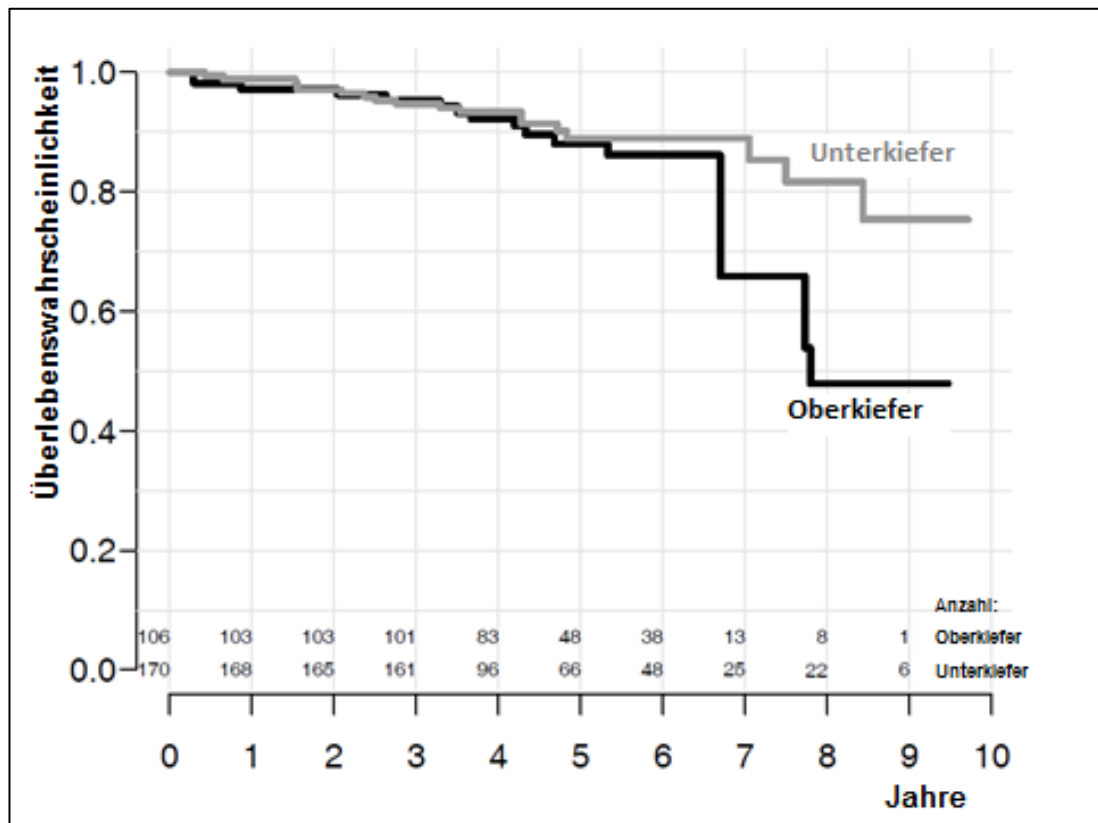
**Abbildung 12:** Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate nach Rauchgewohnheiten der Studienteilnehmer

Die Cox Regressionsanalysen (Tab. 9) für Patienten mit Studienunterkiefer und für alle Patienten und Kiefer zusammen ergaben keine signifikanten Effekte von möglichen Risikofaktoren (Alter, Geschlecht, Lückengebissklassifikation, Rauchen, Diabetes mellitus, Belastungsmodus) auf Implantatverluste. Implantatverluste traten bei Diabetikern nicht auf. Die Hazard Ratios für Rauchen von ca. 2 und für weichbleibende Unterfütterung bzw. Spätbelastung von 4,5 für den Unterkiefer bzw. 2,5 für beide Kiefer deuten jedoch auf mögliche Assoziationen hin.

**Tabelle 9:** Cox Regressionsanalysen für die Implantatverluste von Patienten mit Studienunterkiefer und für alle Patienten und Ereignisse.

Risikofaktor	Referenz-Kategorie	Hazard Ratio (95% Konfidenzintervall)					
		Unterkiefer (14 Ereignisse; adjustiert nach 41 Cluster von Patienten)			Stratifiziert nach Kiefer (17 Ereignisse; adjustiert nach 57 Cluster von Patienten)		
		Unadjustiert	Adjustiert nach Alter	Adjustiert nach Alter und Geschlecht	Unadjustiert	Adjustiert nach Alter	Adjustiert nach Alter und Geschlecht
Alter (≥70 Jahre)	<70 Jahre	0.73 (0.21 – 2.47)	---	0.76 (0.23 – 2.52)	0.88 (0.28 – 2.84)	---	0.92 (0.28 – 3.00)
Weibliches Geschlecht	Männlich	1.28 (0.39 – 4.23)	1.19 (0.37 – 3.77)	---	1.21 (0.40 – 3.62)	1.18 (0.39 – 3.60)	---
Lückengebiss-Klasse	Kontinuierlich	0.80 (0.58 – 1.12)	0.81 (0.58 – 1.11)	0.81 (0.58 – 1.13)	0.77 (0.57 – 1.05)	0.78 (0.58 – 1.04)	0.78 (0.58 – 1.05)
Rauchen	Niemals/ Ex-Raucher	2.17 (0.64 – 7.30)	2.49 (0.60 – 10.4)	2.46 (0.61 – 10.0)	2.08 (0.72 – 6.02)	2.44 (0.67 – 8.84)	2.42 (0.68 – 8.58)
Diabetes	Nein	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
Spätbelastung	Sofortbelastung	4.49 (0.57 – 35.5)	4.46 (0.56 – 35.7)	4.51 (0.53 – 38.3)	2.57 (0.57 – 11.6)	2.58 (0.59 – 11.3)	2.64 (0.58 – 12.0)

Von den zum Zeitpunkt der Implantation vorhandenen 106 Zähnen in Studienoberkiefern und 170 Zähnen im Studienunterkiefern wurden bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 19 Oberkieferzähne und 18 Unterkieferzähne aus verschiedenen Gründen (Karies, Parodontopathien, Frakturen) extrahiert. Die 5-Jahres-Überlebensrate der Zähne betrug im Oberkiefer 88,0% und im Unterkiefer 88,9% (Abb. 13). Nach 6 Jahren Beobachtung war auf Grund der geringen Anzahl eine statistische Auswertung nicht mehr sinnvoll.



**Abbildung 13:** Überlebenswahrscheinlichkeit der Zähne in den Studienkiefern

#### 4.4 Nachsorgeaufwand Suprakonstruktionen

Über die gesamte Beobachtungszeit wurden als einfache Nachsorgemaßnahmen insgesamt 8 Mal (2 Unterkiefer und 6 Oberkiefer) die Silikonringe ausgetauscht und 9 Unterfütterungen bei 8 von 25 Oberkieferprothesen sowie 17 Unterfütterungen bei 14 von 41 Unterkieferprothesen vorgenommen.

Die Reparaturmaßnahmen sind der Tabelle 10 zu entnehmen. Insgesamt mussten 17 Basisfrakturen bei 15 Prothesen repariert werden.

**Tabelle 10:** Reparaturmaßnahmen bei Prothesen nach Kiefer

Maßnahme	Oberkieferprothesen N= 25	Unterkieferprothesen N= 41	Gesamtzahl N= 66
Bruchreparatur	8	9	17
Ersatzzahnverlust	1	1	2
Verblendfraktur	5	6	11
Austausch Prothesenzähne	5	4	9

Weitere Ereignisse wie nachträglich Modellgussbasis einarbeiten oder in der Prothese gelockerte Housings wurden nicht beobachtet.

#### 4.5 Ergebnisse der klinischen Nachuntersuchung

Modifizierter Plaqueindex (PI): Von den 75 MDI im Oberkiefer waren über die Hälfte plaquefrei, die anderen zeigten nach Abstreichen mit der Sonde nur einen dünnen Plaquefilm. Von 106 MDI im Unterkiefer wiesen die Hälfte einen dünnen Plaquefilm und 10% deutliche Plaqueablagerungen auf (Tab. 11).

**Tabelle 11:** Modifizierter Plaqueindex (mod. PI) der Implantate nach Kiefer

Mod. PI	Oberkiefer		Unterkiefer		Total	
Grad	Anzahl	(%)	Anzahl	(%)	Anzahl	(%)
0 (plaquefrei)	43	(57)	42	(39)	85	(47)
1 (dünn)	32	(43)	54	(51)	86	(47,5)
2 (sichtbar)	0	(0)	9	(9)	9	(5)
3 (massiv)	0	(0)	1	(1)	1	(0,5)
Total	75		106		181	

Ein Fünftel der 94 Zähne im Oberkiefer und ein Viertel der 150 Zähne im Unterkiefer waren plaquefrei, die anderen Zähne zeigten dünne bzw. sichtbare Beläge (Tab. 12).

**Tabelle 12:** Modifizierter Plaqueindex (mod. PI) der Zähne nach Studienkiefer

Mod. PI	Oberkiefer		Unterkiefer		Total	
Grad	Anzahl	(%)	Anzahl	(%)	Anzahl	(%)
0 (plaquefrei)	19	(20)	38	(25)	57	(23)
1 (dünn)	57	(61)	84	(56)	141	(58)
2 (sichtbar)	18	(19)	28	(19)	46	(19)
3 (massiv)	0	(0)	0	(0)	0	(0)
Total	94		150		244	

Modifizierter Sulkusblutungsindex (mod. SBI): Etwas mehr als die Hälfte der MDI im Oberkiefer und über zwei Drittel der MDI im Unterkiefer wiesen nach dem vorsichtigen Ausstreichen des Sulkus mit der Sonde keine Blutung als Zeichen für eine

Entzündung auf. Bei den restlichen Implantaten gab es in der überwiegenden Mehrzahl punktförmige Blutungen (Tab. 13).

**Tabelle 13:** Modifizierter Sulkusblutungsindex (mod. SBI) der Implantate nach Kiefer

Mod. SBI	Oberkiefer		Unterkiefer		Total	
Grad	Anzahl	(%)	Anzahl	(%)	Anzahl	(%)
0 (keine Blutung)	43	(57)	76	(72)	119	(65,5)
1 (isoliert, punktförmig)	30	(39)	25	(23,5)	55	(30)
2 (linienförmig)	3	(4)	5	(4,5)	8	(4,5)
3 (massiv, spontan)	0	(0)	0	(0)	0	(0)
Total	76		106		181	

Im Vergleich dazu war der Anteil der Parodontien ohne Blutungen geringer (ein Drittel im Oberkiefer und weniger als die Hälfte im Unterkiefer (Tab. 14)

**Tabelle 14:** Modifizierter Sulkusblutungsindex (mod. SBI) der Zähne nach Kiefer

Mod. SBI	Oberkiefer		Unterkiefer		Total	
Grad	Anzahl	(%)	Anzahl	(%)	Anzahl	(%)
0 (keine Blutung)	30	(33)	68	(45)	98	(40)
1 (isoliert, punktförmig)	45	(49)	70	(46)	115	(47)
2 (linienförmig)	17	(18)	13	(9)	30	(13)
3 (massiv, spontan)	0	(0)	0	(0)	0	(0)
Total	92		151		243	

Maximale Sondierungstiefen: Die maximalen Sondierungstiefen lagen im Mittel bei ca. 2,5 mm für Implantate und über 3 mm für die Restzähne der Studienkiefer (Tab. 15 und 16)

**Tabelle 15:** Maximale Sondierungstiefen an den Implantaten

Kiefer	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Min	1. Quartil	Median	3. Quartil	Max
Oberkiefer	76	2,7	1,0	1,0	2,0	3,0	3,0	8,0
Unterkiefer	105	2,3	1,2	1,0	2,0	2,0	3,0	10,0
Total	181	2,5	1,1	1,0	2,0	2,0	3,0	10,0

**Tabelle 16:** Maximale Sondierungstiefen an den Zähnen

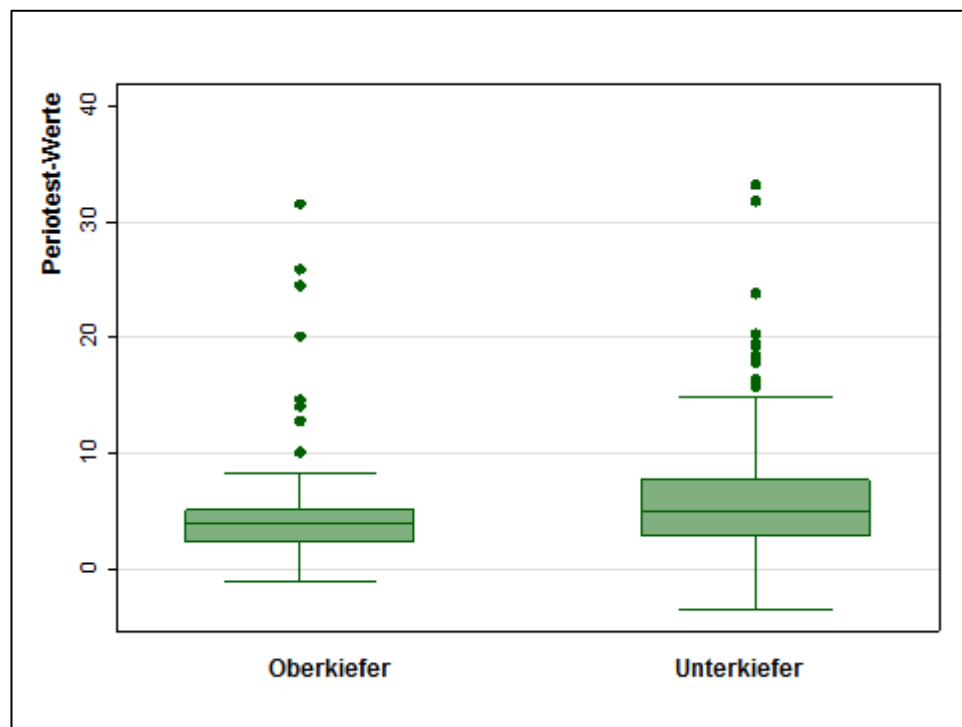
Kiefer	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Min	1. Quartil	Median	3. Quartil	Max
Oberkiefer	93	3,5	1,1	1,0	3,0	3,0	4,0	8,0
Unterkiefer	151	3,0	1,1	1,0	2,0	3,0	4,0	10,0
Total	244	3,2	1,1	1,0	2,5	3,0	4,0	10,0

Blutung nach Sondierung (Bleeding on Probing: BOP): Nach der Sondierung zeigten im Studienoberkiefer 58% der Implantate und 34% der Zähne und im Studienunterkiefer 40,5% der Implantate und 37% der Zähne eine Sulkusblutung.

Implantatstabilität: Die Periotest-Messungen zeigen etwas höhere Werte im Unterkiefer im Vergleich zum Oberkiefer (Tab.17, Abb.14). Der statistische Vergleich nach einer Box-Cox-Transformation der Werte für eine symmetrische Verteilung ergab jedoch keinen signifikanten Unterschied ( $P=0,078$ ).

**Tabelle 17:** Periotest-Werte nach Studienkiefer

Kiefer	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Min	1. Quartil	Median	3. Quartil	Max
Oberkiefer	76	5,3	5,6	-1,1	2,4	3,9	5,1	31,5
Unterkiefer	105	6,7	6,4	-3,5	2,9	4,9	7,7	33,2
Total	181	6,1	6,1	-3,5	2,6	4,4	6,9	33,2

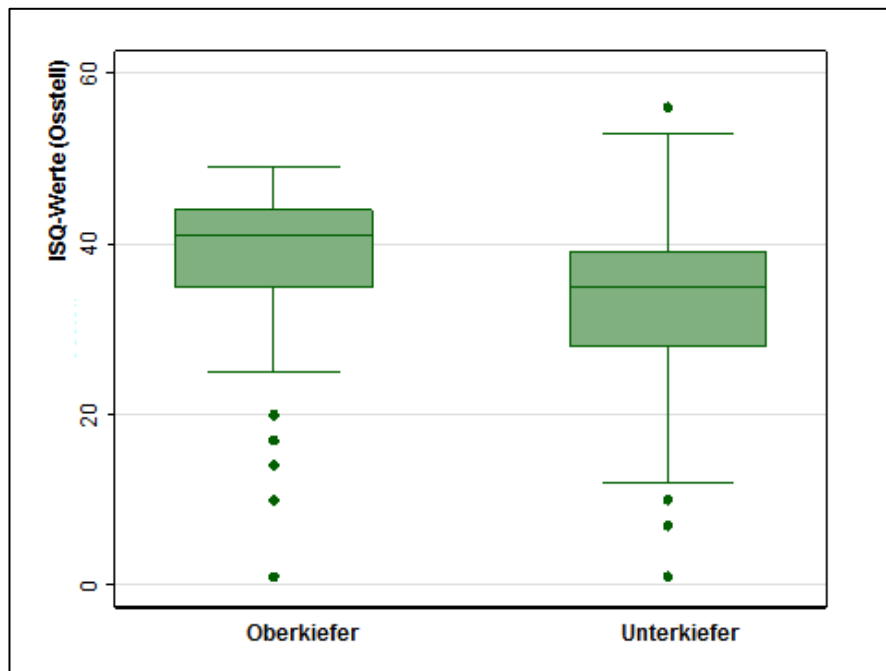


**Abbildung 14:** Boxplots der Periostest-Werte nach Kiefer

Die Osstell-Werte waren im Oberkiefer höher als im Unterkiefer ( $P = 0,001$ ) (Tab. 18, Abb. 15). Dies ist ähnlich wie der Trend bei den Periostest-Messungen ein Anzeichen für eine höhere Implantatfestigkeit im Oberkiefer.

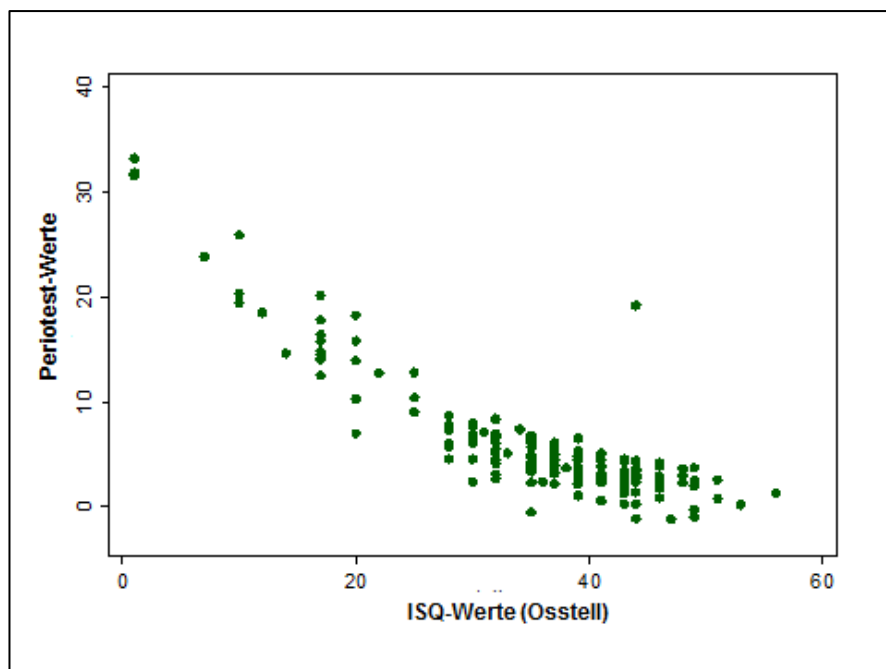
**Tabelle 18:** Osstell-Werte nach Studienkiefer

Kiefer	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Min	1. Quartil	Median	3. Quartil	Max
Oberkiefer	72	38,0	9,4	1	35	41	44	49
Unterkiefer	102	33,0	10,9	1	28	35	39	56
Total	174	35,0	10,6	1	30	37	43	56



**Abbildung 15:** Boxplots der Implantatstabilitätsquotienten (ISQ- Osstell)-Werte nach Kiefer

Werden Periotest- und Osstell-Werte miteinander korreliert, so liegt Pearson-Korrelation bei -0.87 und die Spearman-Korrelation bei -0.82 als Zeichen für eine relativ hohe Korrelation (Abb. 16).



**Abbildung 16:** Graphische Darstellung des Zusammenhanges zwischen Periotest und Osstell-Werten (Implantastabilitätsquotient: ISQ)



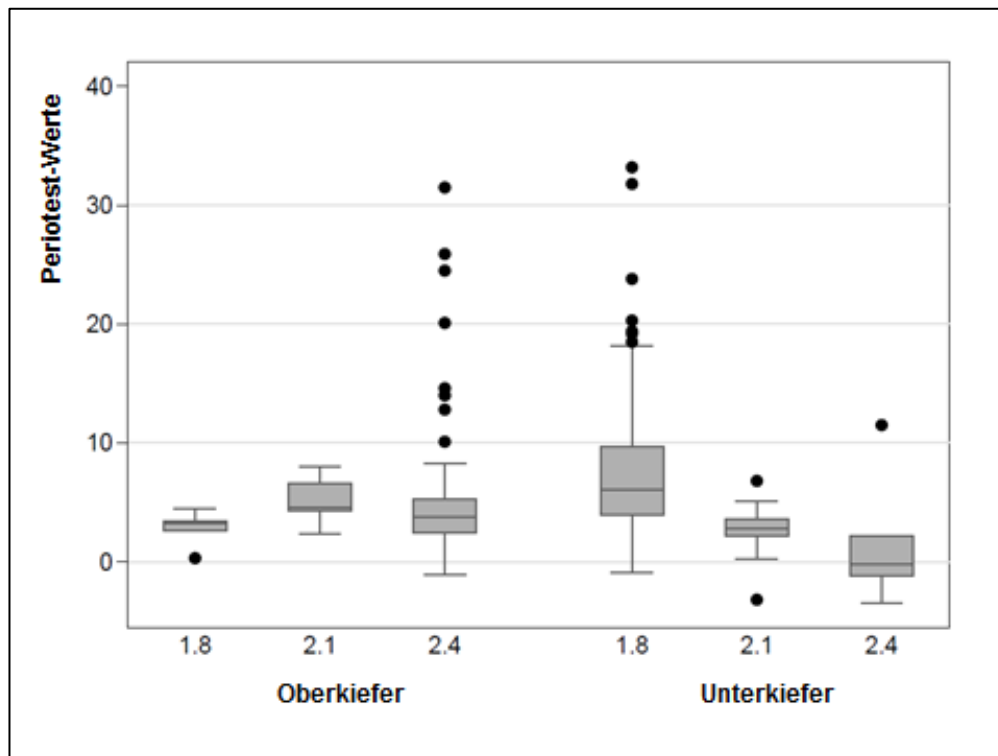
Die Periotestwerte zeigen nach der Box-Cox-Transformation der Werte eine Interaktion zwischen Kiefer und Durchmesser ( $P=0,0092$ ). Im Oberkiefer waren die Unterschiede der Periotestwerte zwischen den Implantatdurchmessern nicht signifikant ( $P=0,5828$ ) (Tab. 19, Abb. 17). Die höchsten Werte wiesen im Unterkiefer die 1,8 mm dicken Implantate auf (Tab. 20, Abb. 17) mit einem P-Wert von 0,0006.

**Tabelle 19:** Periotestwerte im Oberkiefer nach Durchmesser

Durchmesser (mm)	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Min	1. Quartil	Median	3. Quartil	Max
1,8	6	2,9	1,4	0,3	2,6	3,2	3,4	4,5
2,1	10	4,9	1,9	2,3	4,3	4,5	6,6	8,0
2,4	60	5,6	6,2	-1,1	2,4	3,8	5,3	31,5

**Tabelle 20:** Periotestwerte im Unterkiefer nach Durchmesser

Durchmesser (mm)	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Min	1. Quartil	Median	3. Quartil	Max
1,8	80	8,1	6,6	-0,9	3,9	6,1	9,7	33,2
2,1	20	2,8	2,1	-3,2	2,1	2,8	3,6	6,8
2,4	5	1,8	5,8	-3,5	-1,2	-0,2	2,2	11,5



**Abbildung 17:** Boxplots der Periotest-Werte nach Durchmesser und Kiefer

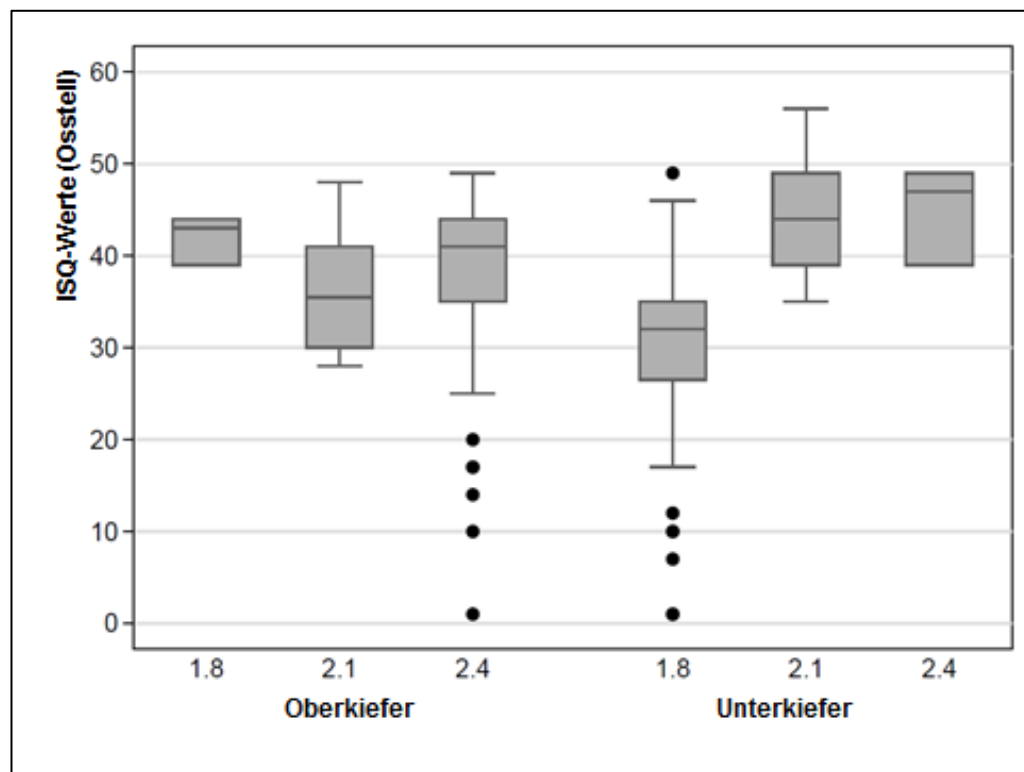
Auch bei den Osstell-Werten (Tab. 21 u. 22, Abb. 18) gab es eine Interaktion zwischen Kiefer und Durchmesser ( $P=0,0095$ ). Die 1,8 mm MDI wiesen im Unterkiefer statistisch signifikant geringere Werte auf als die dickeren MDI ( $P< 0,0001$ ). Im Oberkiefer waren die Differenzen zufällig ( $P= 0,5886$ ).

**Tabelle 21:** Osstell-Werte im Oberkiefer nach Durchmesser

Durchmesser (mm)	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Min	1. Quartil	Median	3. Quartil	Max
1,8	6	42,0	2,4	39	39	43	44	44
2,1	10	36,0	6,9	28	30	35,5	41	48
2,4	56	37,9	10,2	1	35	41	44	49

**Tabelle 22:** Osstell-Werte im Unterkiefer nach Durchmesser

Durchmesser (mm)	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Min	1. Quartil	Median	3. Quartil	Max
1,8	80	29,8	9,8	1	26,5	32	35	49
2,1	19	44,5	6,1	35	39	44	49	56
2,4	3	45,0	5,3	39	39	47	49	49

**Abbildung 18:** Boxplots der Osstell-Werte nach Durchmesser und Kiefer

#### 4.6 Mundgesundheitsbezogene Lebensqualität (OHIP-G14)

Der Mittelwert des OHIP-G14 Summenscore war im Oberkiefer etwas kleiner als im Unterkiefer (1,8 versus 2,2), wobei sich bei den Frauen etwas höhere Summenwerte im Oberkiefer ergaben (Tab. 23 und 24).

**Tabelle 23:** OHIP-G14-Summscore bei den Studienteilnehmern mit MDI im Oberkiefer nach Geschlecht

	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Min	1. Quartil	Median	3. Quartil	Max
Männer	12	1,8	1,5	0	1	1	2	6
Frauen	13	1,9	2,2	0	0	2	3	6
Total	25	1,8	1,9	0	0	1	2	6

**Tabelle 24:** OHIP-G14-Summscore bei den Studienteilnehmern mit MDI im Unterkiefer nach Geschlecht

	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Min	1. Quartil	Median	3. Quartil	Max
Männer	14	1,7	1,9	0	0	1	3	6
Frauen	27	2,4	3,1	0	0	2	3	15
Total	41	2,2	2,7	0	0	1	3	15

#### 4.7 Zufriedenheit mit der prothetischen Versorgung

Eine Bewertung einer Unterkieferprothese fehlt. Die überwiegende Mehrzahl der Studienteilnehmer beantwortete die einzelnen Fragen zur Zufriedenheit mit der prothetischen Versorgung des Studienkiefers mit sehr gut bzw. gut. Nur wenige waren nicht ganz so zufrieden und kein Studienteilnehmer unzufrieden (Tab. 25).

**Tabelle 25:** Antworten auf die Fragen zur Zufriedenheit mit der Prothese bei den Studienteilnehmern nach Kiefer

Item	Oberkiefer						Unterkiefer:					
	Anzahl der Antworten n (%)						Anzahl der Antworten n (%)					
	Sehr gut		Gut		Weder gut noch schlecht		Sehr gut		Gut		Weder gut noch schlecht	
Zufriedenheit global	20	(80)	5	(20)	0	(0)	28	(70)	11	(27)	1	(3)
Halt	20	(80)	5	(20)	0	(0)	31	(77)	9	(22)	0	(0)
Lagesicherheit	17	(68)	7	(28)	1	(4)	30	(75)	10	(25)	0	(0)
Belastbarkeit	20	(80)	3	(12)	2	(8)	29	(73)	11	(27)	0	(0)
Sprechen	21	(84)	4	(16)	0	(0)	35	(87)	5	(13)	0	(0)
Essen	18	(72)	6	(24)	1	(4)	29	(73)	11	(27)	0	(0)
Aussehen	14	(56)	11	(44)	0	(0)	25	(62)	15	(38)	0	(0)
Reinigbarkeit	15	(60)	9	(36)	1	(4)	20	(50)	20	(50)	0	(0)

Diese Bewertungen spiegeln sich in den Summenscores wieder. Fast die Hälfte der Studienteilnehmer mit Oberkiefer-Prothesen und ca. ein Drittel der Studienteilnehmer mit Unterkiefer-Prothesen beantworteten alle Fragen mit „sehr gut“, denn dann betrug der Summenscore= 8 (Tab. 26).

**Tabelle 26:** Summenscores aus den Fragen zur Zufriedenheit mit der Prothese bei den Studienteilnehmern nach Kiefer

Summenscore	Oberkiefer		Unterkiefer	
	n	(%)	n	(%)
8	11	(44)	14	(35)
9	2	(8)	9	(22,5)
10	5	(20)	3	(7,5)
11	0	(0)	1	(2,5)
12	1	(4)	5	(12,5)
13	0	(0)	0	(0)
14	2	(8)	3	(7,5)
15	2	(8)	2	(5)
16	1	(4)	3	(7,5)
17	1	(4)	0	(0)
Total	25	(100)	40	(100)

#### 4.8 Röntgenologische Änderungen des marginalen Knochenniveaus

Insgesamt konnten die Knochenniveauänderungen von 133 mesialen und 132 distalen Implantatflächen ermittelt werden. Für 57 Oberkiefer-MDI betrug die mittlere Beobachtungszeit  $5,16 \pm 1,58$  Jahre und für 76 Unterkiefer-MDI  $4,98 \pm 1,93$  Jahre.

Da die Untersuchungszeiträume zwischen der Insertion und der letzten Panoramaschichtaufnahme (in der Regel zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung) sehr unterschiedlich waren, wurden die Knochenniveauänderungen pro Jahr berechnet (Tab. 27). Negative Werte zeigen einen Gewinn an Knochenhöhe.

**Tabelle 27:** Änderungen des mesialen und distalen Knochenniveaus an den MDI pro Jahr

	Gesamt (mm)		Oberkiefer (mm)		Unterkiefer (mm)	
	Mesial	Distal	Mesial	Distal	Mesial	Distal
Anzahl	133	132	57	57	76	75
Mittelwert	0.26	0.23	0.25	0.25	0.26	0.22
Standardabweichung	0.30	0.28	0.22	0.27	0.35	0.29
Standardfehler	0.026	0.024	0.029	0.036	0.041	0.033
Median	0.20	0.18	0.22	0.20	0.18	0.17
Minimum	-0.17	-0.62	-0.15	-0.62	-0.17	-0.35
1. Quartil	0.09	0.10	0.10	0.13	0.08	0.07
3. Quartil	0.35	0.30	0.37	0.30	0.31	0.30
Maximum	2.44	1.96	0.94	1.23	2.44	1.96

Die Mehrzahl der Implantate zeigte entweder einen geringen jährlichen Knochenabbau von unter 0,2 mm (37-50%) oder sogar Knochenzuwachs (8-13%) (Tab. 28). Bei 5-8% der Implantate war ein jährlicher Knochenabbau von mehr als 0,6 mm zu beobachten.

**Tabelle 28:** Häufigkeiten des Umfangs von Änderungen des mesialen und distalen Knochenniveaus an den MDI pro Jahr

Knochenabbau pro Jahr	Gesamt				Oberkiefer				Unterkiefer			
	Mesial		Distal		Mesial		Distal		Mesial		Distal	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)
< 0	11	(8,3)	13	(9,8)	5	(8,8)	3	(5,3)	6	(7,9)	1 0	(13,3 )
0,0 – <0,2	55	(41,3 )	61	(46,2 )	2 1	(36,8 )	2 7	(47,4 )	3 4	(44,7 )	3 4	(45,3 )
0,2 – <0,4	42	(31,6 )	31	(23,5 )	2 2	(38,6 )	1 6	(28,1 )	2 0	(26,3 )	1 5	(20,0 )
0,4 – <0,6	15	(11,3 )	18	(13,6 )	5	(8,8)	7	(12,3 )	1 0	(13,1 )	1 1	(14,7 )
0,6 – <0,8	3	(2,2)	5	(3,8)	1	(1,7)	1	(1,7)	2	(2,6)	4	(5,3)
0,8 – <1,0	4	(3,0)	1	(0,7)	3	(5,3)	1	(1,7)	1	(1,3)	0	(0)
1,0 – 2,0	2	(1,5)	3	(2,3)	0	(0)	2	(3,5)	2	(2,6)	1	(1,3)
> 2,0	1	(0,7)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	1	(1,3)	0	(0)
Gesamt	13 3	(100)	13 2	(100)	5 7	(100)	5 7	(100)	7 6	(100)	7 5	(100)

Die Analyse von Faktoren für den Knochenabbau war auf Grund des retrospektiven Designs mit unterschiedlichen Beobachtungszeiten nicht möglich. Deshalb wurde das Knochenniveau zum Zeitpunkt der letzten Röntgenaufnahme für eine Mixed Model Analyse zu Grunde gelegt. Auf Grund der relativ hohen mittleren maximalen Sondierungstiefen an den Zähnen (3,0- 3,5mm) während der Nachuntersuchung wurde der parodontale Zustand des Restgebisses als Exposition gewählt und nach anderen Faktoren wie Alter, Geschlecht, Rauchen, Lückengebissituation (Klasse), Fläche und Medikamentation (Anzahl der Medikamente) adjustiert. Für die Einschätzung der parodontalen Situation mussten wenigstens 2 Zähne vorhanden sein. Die letzte Röntgenuntersuchung wurde nach Personen- und Zahnpositionsebene adjustiert (Tab. 29).

**Tabelle 29:** Mixed Models (gemischte Modelle) für das Knochenniveau an Implantaten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung mit der Exposition mittlere Sondierungstiefe an Zähnen

Adjustiert nach	Anzahl Teilnehmer	Anzahl Zähne	Koeffizient	Robuster Standardfehler	95% Konfidenzintervall	P-Wert
ohne Adjustierung	41	130	0.30	0.14	0.03 – 0.57	0.028
+ Alter	41	130	0.30	0.14	0.02 – 0.58	0.033
+ Geschlecht	41	130	0.30	0.14	0.03 – 0.57	0.030
+ Rauchverhalten	41	130	0.30	0.13	0.05 – 0.56	0.018
+ Klasse	41	130	0.30	0.13	0.05 – 0.55	0.018
+ Fläche (mesial/distal)	41	130	0.30	0.13	0.05 – 0.55	0.018
+ Anzahl Medikamente	39	127	0.36	0.13	0.10 – 0.62	0.007

Die Analysen zeigen einen signifikanten Effekt einer höheren mittleren Sondierungstiefe an Zähnen, die ein um ca. 0,3 mm geringeres Knochenniveau an den MDI zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bewirkt. Dieser Effekt blieb nach Adjustierung bestehen. In weiteren Modellen wurde der Einfluss der Lückengebissituation und Rauchen auf den Knochenverlust überprüft, ohne dass irgendwelche statistisch signifikante Assoziationen ermittelt wurden.



## 5 Diskussion

### 5.1 Kernaussagen und Limitationen

Die retrospektive Studie hatte das Ziel, die klinische Performance von MDI zur Stabilisierung von Teilprothesen unter Praxisbedingungen zu überprüfen. Die Anzahl von 57 Patienten und 66 Kiefer, die in die Studie einbezogen werden konnten, blieb zwar etwas unter den Erwartungen, war jedoch hoch genug, um therapierelevante Rückschlüsse für derartige Versorgungen zu ziehen. Die Untersuchung zeigt, dass die Pfeilervermehrung mit MDI unter vorhandenen Prothesen eine machbare Therapieoption darstellt. Überraschend war die geringere Überlebensrate der MDI im Unterkiefer im Vergleich zum Oberkiefer. Der Nachsorgeaufwand für die Prothesen war abgesehen von einigen Bruchreparaturen relativ gering. Die Untersuchung zeigte, dass neben dem Periotestgerät zur Messung der Implantatstabilität auch das Osstell-Gerät mit entsprechenden Smartpegs eingesetzt werden könnte. Die Werte sind bei Periotest jedoch höher bzw. beim Osstell niedriger als bei Standard-Durchmesser Implantaten. Anamnestisch war die überwiegende Mehrzahl der Patienten zufrieden mit den prothetischen Versorgungen und auch die Messung der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität mittels des OHIP-G14 erreichte bei fast allen Patienten gute und sehr gute Werte. Hohe jährliche Knochenabbauraten ( $> 0,6$  mm) waren nur bei wenigen ( $< 10\%$ ) Implantaten zu beobachten. Das Knochenniveau an den MDI zum Zeitpunkt der letzten Röntgenuntersuchung scheint mit dem parodontalen Zustand der Restzähne im Studienkiefer zusammenzuhängen.

Der Patientenpool in der Praxis umfasste insgesamt 98 Patienten mit MDI zur Pfeilervermehrung für herausnehmbaren Zahnersatz. Erwartungsgemäß konnte eine Reihe von Patienten ( $n=28$ , 28,6%) die Praxis nicht aufsuchen, da sie in der Zwischenzeit entweder schwer erkrankt, verstorben oder unbekannt verzogen waren. Diese wurden als neutrale Ausfälle gewertet, so dass die bereinigte Stichprobe 70 Patienten umfasste und die Response-Rate mit 57 Studienteilnehmern über den angestrebten 80% lag und somit ein ausgeprägter Selektionsbias unwahrscheinlich ist. Von den in die Studie eingeschlossenen Patienten konnte außer bei der Röntgenauswertung ein vollständiger Datensatz mit wenigen fehlenden Angaben erhoben werden.

Das Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Implantation bewegte sich erwartungsgemäß im Mittel bei 65 Jahren. Es wurden ausschließlich MDI berücksichtigt die vor dem 31.12.2010 inseriert wurden, darunter 9 Kiefer, bei denen vor 2006 für Pfeilervermehrungen implantiert wurde.

Unter den Studienteilnehmern waren sehr wenige Raucher ( $< 20\%$ ), trotzdem ehemalige Nichtraucher erst als solche klassifiziert wurden, wenn sie mit dem Rauchen mindestens 5 Jahre vor dem Untersuchungszeitpunkt aufgehört hatten. Wegen dieser geringen Zahl war eine Analyse des wichtigen Einflussfaktors Rauchen auf Implantatverlust und/oder Knochenabbau kaum zu realisieren. Ebenso war die Anzahl der Erkrankungen unter den Studienteilnehmern zu gering wie z. B. Diabetes mellitus oder zu unspezifisch, um irgendwelche Zusammenhänge zu ermitteln.

Bei 44% der Oberkiefer und 32% der Unterkiefer bestand nach der neuen Klassifikation für Pfeilervermehrung keine Indikation für strategische MDI, hier wurden ausschließlich optionale MDI gesetzt. Pro Kiefer kamen in der Mehrzahl (89%) 2-4 Implantate pro Kiefer zum Einsatz.

Weitere Limitationen sind dem retrospektiven Design der Studie geschuldet. Erstens, um den Zusammenhang zwischen der parodontalen Situation der Zähne und den Implantatverlusten/Knochenabbauraten zu ermitteln, ist ein Ausgangsbefund zwingend notwendig. Deshalb wurde der mögliche Zusammenhang der Sondierungstiefen mit dem röntgenologischen Knochenniveau an den MDIs in der letzten Panoramaschichtaufnahme analysiert. Zweitens, die Bestimmung des marginalen Knochenniveaus mittels Panoramaschichtaufnahmen wird kontrovers beurteilt, da die Auflösung insbesondere in der anterioren Region (Überlagerung mit der Wirbelsäule) häufig zu wünschen übrig lässt. Deshalb flossen nur die MDI in die Auswertung ein, die röntgenologisch sicher zu bewerten waren. Intraorale Zahnfilmaufnahmen wären zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung sicherlich eine Option gewesen, ständen jedoch im Widerspruch zu den unmittelbar postoperativen Panoramaschichtaufnahmen. Drittens wurde nur ein Untersucher eingesetzt, der zwar unabhängig war, jedoch liegt ein systematischer Fehler während der klinischen Befunderhebung im Bereich des Möglichen. Deshalb war das initiale

Untersuchertraining während des Kick-off Treffens durch den Studienkoordinator im Juni 2013 von Bedeutung.

Eine Stärke der Studie ist, dass die klinische Untersuchung durch einen erfahrenen Zahnarzt (> 20 Jahre Berufserfahrung) erfolgte, bei dem bis zu diesem Zeitpunkt das MDI-System in der eigenen Praxis keine Rolle spielte und der in der Behandlung der Studienteilnehmer nicht involviert war. Die minimale (3 Jahre) und durchschnittliche (5,5 Jahre) Beobachtungszeit ist ebenfalls hervorzuheben, denn die Anzahl der Studien zu Miniimplantaten über mindestens 5 Jahren Beobachtung ist immer noch unzureichend.<sup>13, 20, 21, 26, 99</sup> Die Studie zielte nicht nur auf die MDI ab, sondern auch auf deren prothetische Versorgungen und auf subjektive Parameter wie Zufriedenheit und mundgesundheitsbezogene Lebensqualität der Patienten mit standardisierten Messinstrumenten.

## **5.2 Implantat- und Zahnüberleben**

Die 5-Jahre-Überlebensrate der MDI im Unterkiefer von 86,9% war überraschend niedrig und steht im Gegensatz zu bisherigen Studien mit MDI-gestützten totalen Prothesen, die 1- bis-5-Jahres-Überlebensraten von über 91 bis 97% ermittelten.<sup>13, 20, 22, 24-26, 64, 85, 97</sup> Die 5-Jahres-Überlebensrate der Oberkiefer- MDI von über 97% ist hingegen relativ hoch im Vergleich zu anderen Studien, die von 3-5 Jahres-Überlebensraten der Implantate von < 85% berichten.<sup>22-24</sup> Bei den Patienten dieser retrospektiven Untersuchung wurden viele Prothesen (64%) im Oberkiefer zunächst weichbleibend unterfüttert und die Einarbeitung der Housings erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt nach 3-4 Monaten im Gegensatz zu den oben genannten Studien, in denen die MDI sofort belastet wurden. Dies könnte die gute Überlebensrate im Oberkiefer erklären, die ähnlich hoch wie in einer retrospektiven, multizentrischen Untersuchung in 9 Zahnarztpraxen ausfiel,<sup>25</sup> in der die Behandler ähnlich wie in dieser Studienpraxis vorgehen. Die meisten Verluste waren im ersten Jahr wegen fehlender oder verlorengegangener Osseointegration zu beobachten, danach gingen wie in anderen Studien nur noch vereinzelt Implantate verloren.<sup>23-26, 79, 85, 98</sup> Der Grund für die relativ hohe Verlustrate im Unterkiefer bleibt offen. Mögliche Ursachen dafür könnten erstens der parodontale Zustand der Zähne sein, der womöglich zu

Einheilproblemen der MDI führte und zweitens die höhere Belastung der MDI während der Osseointegrationsphase durch den Oberkiefer. In prospektiven Studien zu MDI im zahnlosen Unterkiefer trugen die Studienteilnehmer im Oberkiefer totale Prothesen.<sup>23, 26, 64, 79, 85, 98</sup> In der vorliegenden Studie waren neben 14 totalen Prothesen, 20 Teilprothesen, teilweise ebenfalls MDI gestützt inkorporiert und 6 Patienten waren sogar festsitzend versorgt. In der Kaplan-Meier Kurve für den Unterkiefer, in der die Implantate der Raucher mit denen der Nichtraucher verglichen wurden, ist ein Trend für eine höhere Verlustrate unter Rauchern zu vermuten. Diese Vermutung wird im Cox Regressionsmodell tendenziell bestätigt. Das Regressionsmodell zeigt ebenso einen Trend für eine höhere Verlustrate in Kiefern, deren Prothesen zunächst weichbleibend unterfüttert wurden und die Belastung der MDI zu einem späteren Zeitpunkt erfolgte. Es könnte sein, dass gerade diese Kiefer eine schlechtere Knochenqualität aufwiesen, diese MDI nicht die gewünschte Festigkeit erreichten und deshalb die Prothesen weichbleibend unterfüttert wurden. Schon die geringe Belastung durch das Unterfütterungsmaterial könnte zu Verlusten führen.

Bei der 5-Jahres-Extraktionsrate der Zähne in beiden Studienkiefern von ca. 12% ab dem Zeitpunkt der primären Implantationen muss berücksichtigt werden, dass die MDI häufig in vorgeschädigte Gebisse mit reduzierter Zahnanzahl inseriert wurden und die Zähne häufig als Pfeiler zur Verankerung von Teleskopprothesen dienten. Aus epidemiologischen Untersuchungen ist bekannt, dass die Zahnverlustrate umso höher ist, je weniger Zähne zu Beginn der Beobachtung vorhanden sind.<sup>108, 109</sup> In einer klinischen Studie war die 5-Jahres-Verlustrate von Teleskop Pfeilern bei stark reduzierter Restbezahnung (1-3 Zähne) mit 19,4% sogar noch höher.<sup>110</sup> Bei verkürzten Zahnreihen (ohne Molaren), die entweder so belassen oder mit einer Geschiebeprothese versorgt wurden, zeigten 5 Jahre später 84% der Kiefer mit verkürzter Zahnreihe und 88% der Kiefer mit Prothesen (teilweise multiplen) Zahnverlust.<sup>111</sup>

In Studien zur Pfeilervermehrung mit Standard-Durchmesser Implantaten betrugen die 3-8-Jahres-Implantatüberlebensraten in beiden Kiefern zwischen 92 und 100% und die Überlebensraten der Zähne in den Studienkiefern zwischen 85 und 95%, in einer Studie jedoch auch 100%.<sup>7-9, 33, 35-38</sup> Vergleiche mit der vorliegenden Studie sind auf

Grund der unterschiedlichen Untersuchungszeiten und Ausgangsbedingungen kaum möglich.

### 5.3 Nachsorgeaufwand Suprakonstruktion

Alle ursprünglichen Prothesen waren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung noch in Funktion. Die einfachen Nachsorgemaßnahmen hielten sich in Grenzen. So sind 25 Unterfütterungen bei 66 Prothesen innerhalb von durchschnittlich 5 Jahren aus klinischer Sicht als durchaus akzeptabel zu werten. Der Austausch der Silikonringe in den Housings war relativ selten dokumentiert.

Prothesenfrakturen sind Ereignisse, die den Praxisablauf stören, für Patienten und Behandler unangenehm sind, aber andererseits durchaus schnell zu reparieren sind. Es wurden 17 Frakturen gezählt. Dies hängt vermutlich mit der Schwächung des Gerüsts beim Ausfräsen der vorhandenen Prothese für die Aufnahme der Housings zusammen. In vielen Studien zur Pfeilervermehrung mit Standard-Implantaten waren die Implantate schon gesetzt und es erfolgte eine prothetische Neuversorgung oftmals mit Doppelkronen, so dass das bei der Gerüsterstellung von vornherein die Implantate berücksichtigt werden konnten. Dadurch waren Prothesenfrakturen sehr selten.<sup>7-9, 31, 34, 37</sup> Technische Komplikationen betrafen die Verbindungselemente nach Schraubenlockerungen, Frakturen von Verblendungen, Ersatzzahnverluste und Frakturen von Kunststoffanteilen der Basis. In einigen Studien wurden die Standard-Implantate mittels Kugelanker wie in der vorliegenden nachträglich eingearbeitet.<sup>5, 8, 11, 12, 33, 38</sup> Angaben über prothetische Komplikationen in diesen Studien waren eher selten.<sup>33, 38</sup> Reparaturen betrafen hauptsächlich die Verbindungselemente (Austausch resilianter Elemente, Schraubenlockerungen) und Reparaturen des Kunststoffanteils bzw. nach Ersatzzahnverlusten. Auch hier waren Prothesenfrakturen eher selten (<3%). In einer Studie wurden technische Komplikationen zwischen Prothesen mit primär gesetzten und nachträglich gesetzten Implantaten verglichen<sup>8</sup> und mehr Komplikationen bei Prothesen mit nachträglich eingearbeiteten Implantaten beobachtet. Insgesamt lagen die Prothesenüberlebensraten nach Pfeilervermehrung mit Standard-Implantaten zwischen 92 und 100%. In einigen Studien mussten im Gegensatz zu der vorliegenden Studie Prothesen neu angefertigt werden.

#### 5.4 Klinische Nachuntersuchung

Plaqueablagerungen waren an Zähnen häufiger (77%) und intensiver (Grad 2: 19%) als an den MDI (53% bzw. Grad 2/3: 5,5%). Folge sind wahrscheinlich die höheren Werte des modifizierten Sulkusblutungsindex (SBI) als Anzeichen für eine gingivale bzw. periimplantäre Entzündung,<sup>112, 113</sup> die bei Zähnen ebenfalls höher ausfielen als bei den MDI. Die Sondierung der MDI erfordert eine besondere Technik, da die Kraft nicht zu hoch sein sollte ( $< 0,2 \text{ N}$ ).<sup>114</sup> Dies könnte die relativ geringen durchschnittlichen Maximalwerte bei den MDI von unter 3 mm erklären. Bei den Zähnen hingegen waren die Mittelwerte der maximalen Sondierungstiefen pro Zahn mit 3-3,5 mm und die Medianwerte von 3 mm in beiden Kiefern relativ hoch. Dies deutet darauf hin, dass über die Hälfte der Zähne Sondierungstiefen von mehr als 3 mm als Anzeichen für eine Gingivitis/Parodontitis aufwiesen. Blutung nach Sondierung war bei den MDI (Oberkiefer: 58%, Unterkiefer: 40,5%) häufiger als bei Zähnen (34% bzw. 37%). Bei Zähnen ist es ein Anzeichen für eine aktive Entzündung, bei Implantaten kann es jedoch auch auf eine Verletzung der periimplantären Mukosa durch den Sondierungsvorgang hindeuten und sollte vorsichtig gewertet werden.<sup>115, 116</sup>

Die Festigkeitsmessungen mit Periotest und Resonanzfrequenzanalyse (RFA) mit Osstell zeigen, dass MDI höhere Periotest-Werte (2-7) und niedrigere ISQ-Werte nach der RFA Messung (35-45) aufweisen als osseointegrierte Implantate mit einem Standard-Durchmesser (Periotest:  $< 1$ , ISQ  $> 60$ ).<sup>51, 117, 118</sup> Die ermittelten Werte würden nach Angaben beider Gerätehersteller sogar bedeuten, die Implantate besitzen für eine prothetische Belastung noch keine ausreichende Festigkeit. Die gefundenen Periotest-Werte hatten ähnliche Dimensionen wie die von Scepanovic *et al.*<sup>63</sup>, die MDI mit einem Durchmesser von 1,8 mm zur Stabilisierung von totalen Unterkieferprothesen verwendeten. Nach Osseointegration der MDI betrug ihr Mittelwert  $6 \pm 6$ . In zwei anderen Studien war jedoch die sekundäre Stabilität der 1,8 mm MDI im Unterkiefer höher. In einer Studie wurden durchschnittliche Periotest-Werte von  $-1,4^{91}$  und in der anderen Studie sogar von  $-3,7^{64}$  ermittelt. Diese Unterschiede sind überraschend. Es könnte sein, dass im Gegensatz zu der vorliegenden Studie der Stößel des Gerätes nicht auf den Kugeläquator sondern weiter

zervikal an der Vierkantbasis auftraf und somit kleinere Rückschwingungen auftraten. In beiden Veröffentlichungen wurde der Messvorgang nicht näher beschrieben.

Die höheren Periotest-Werte der MDI im Vergleich zu Standard-Durchmesser Implantaten hängen wahrscheinlich mit ihrem geringen Durchmesser zusammen und werden durch die durchgeführten RFA-Messungen bestätigt, denn Periotest- und ISQ-Werte korrelierten stark. Im Gegensatz zu den ISQ-Werte von  $< 45$  in der vorliegenden Studie betrugen die mittleren Werte 6 Wochen nach MDI-Insertion in Tibia- und Femurköpfen von Kaninchen  $60,5 \pm 5,5$  und waren nur etwas geringer als bei Standard-Implantaten ( $65,5 \pm 9,3$ ).<sup>102</sup> Die Ursache hierfür könnte neben der anderen Knochenqualität auch der Verankerungsmechanismus des neuen Smartpegs sein, denn im Gegensatz zu der vorliegenden Studie wurde dieser nicht nur über die Kugel sondern auch auf den Insertionsvierkant geschoben, festgeschraubt und somit eine stabilere Verankerung erreicht. In einem jüngst veröffentlichten randomisierten Vergleich im zahnlosen Unterkiefer waren die ISQ-Werte bei 3 mm dicken einteiligen Implantaten (die eigentlich nicht mehr den Miniimplantaten zugeordnet werden sollten) mit 66-77,5 sogar noch höher und entsprachen erwartungsgemäß den Messungen an 3,75 mm dicken zweiteiligen Implantaten in der Kontrollgruppe.<sup>78</sup>

Die ISQ-Werte mit dem Osstell waren im Oberkiefer höher als im Unterkiefer. Auch bei den Periotest-Werten war ein Trend zu einer höheren Festigkeit der MDI im Oberkiefer zu verzeichnen. Dies hängt offensichtlich damit zusammen, dass im Oberkiefer vorzugsweise MDI mit einem Durchmesser von 2,4 mm verwendet wurden im Gegensatz zum Unterkiefer, in dem hauptsächlich 1,8 mm MDI gesetzt wurden. Die dünnsten MDI wiesen im Unterkiefer die signifikant höchsten Periotest- und die signifikant geringsten ISQ-Werte auf. Im Oberkiefer waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Durchmessern zu ermitteln, hier spielt neben der geringen Anzahl der dünnen MDI ( $n=6$ ) wahrscheinlich auch eine Rolle, dass diese vorzugsweise im schmalen kortikalen Oberkieferknochen mit wenig weicher Spongiosa zur Anwendung gelangten.

Möglicherweise ist das Osstellgerät zur Differenzierung bei hoher Implantatstabilität besser geeignet, wie die Abbildungen 19 und 20 zeigen. Die Verteilung der ISQ-Werte

ist günstiger (normalverteilt), bei den Periotest-Werten ist ein Peak im unteren Bereich.

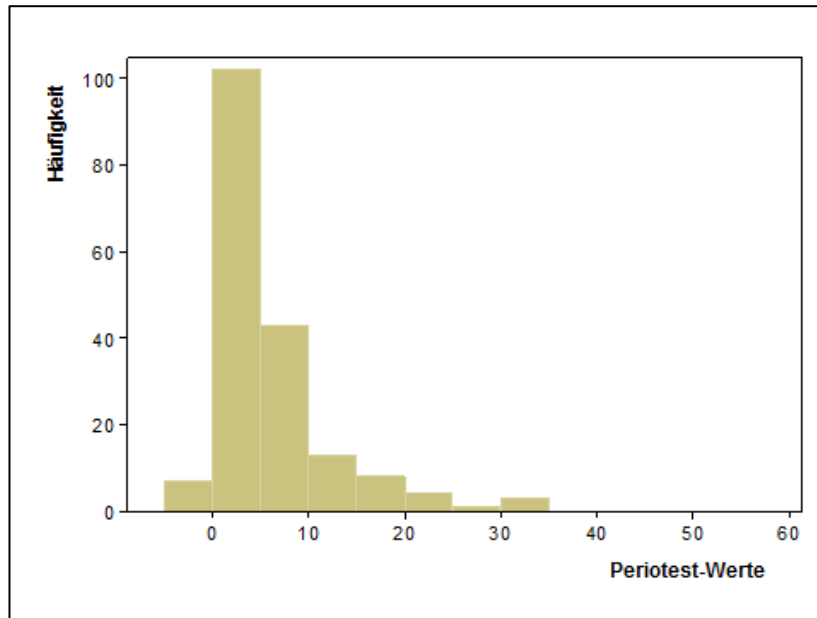


Abbildung 19: Häufigkeiten der Periotest -Werte

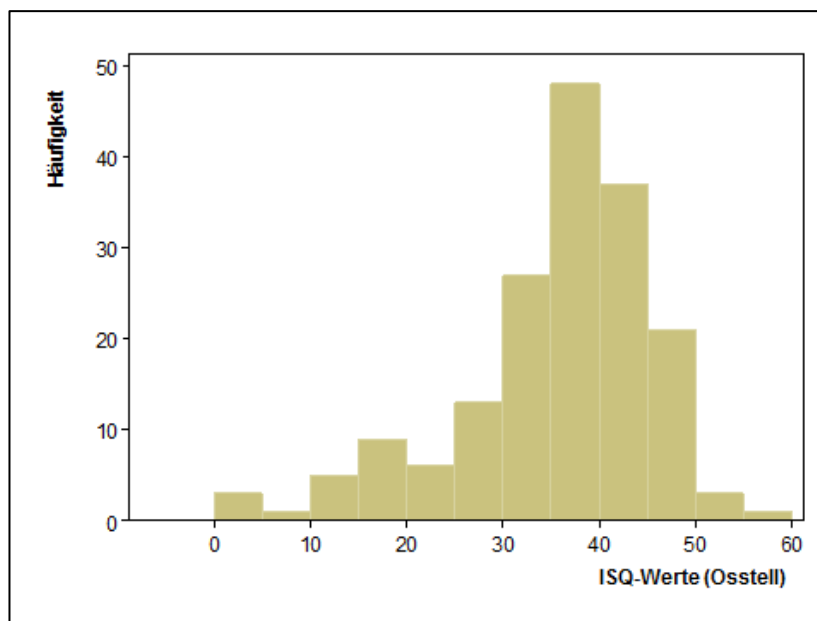


Abbildung 20: Häufigkeiten der Osstell-Werte

## 5.5 Mundgesundheitsbezogene Lebensqualität und Zufriedenheit

Die OHIP-G14 Summenscores von durchschnittlich 2 (Median 1-2) lagen unterhalb der Referenzwerte, die John *et al.*<sup>106</sup> für Personen mit Teilprothesen als deutschen Referenzwert= 4 angaben. Die Mittel- und Medianwerte waren etwas niedriger als in



einer anderen retrospektiven Studie von Mundt *et al.*<sup>25</sup>, die Personen mit MDI-gestützten totalen Ober- und Unterkiefer- Prothesen angeben. In dieser Auswertung lagen die Mittelwerte zwischen 3 und 5 und die Medianwerte bei 2 bis 3.

Wolfart *et al.*<sup>12</sup> zeigte in einer longitudinalen Studie zur Pfeilervermehrung mit spätbelasteten Standard-Implantaten unter 11 Teilprothesen mit ungünstiger Restzahnverteilung, dass die mundgesundheitsbezogene Lebensqualität (OHIP-49) sich 1 Woche nach der Einarbeitung der Kugelankermatrizen in die vorhandene Prothese signifikant gegenüber dem präoperativen Ausgangszustand in allen einzelnen Dimensionen verbesserte und diese Verbesserung über 24 Monate anhielt.

In einer anderen Studie<sup>41</sup> erhielten 17 Patienten mit verkürzten Zahnreihen nach der Insertion von 6 mm kurzen posterioren Implantaten eine neue Modellgussprothese. Nach 3 Monaten wurden die Implantate freigelegt und die Matrizen in die Prothese eingearbeitet. Nur ein Implantat ging verloren, welches problemlos reimplantiert wurde. Schon die Protheseneingliederung führte zu einer relevanten Verringerung des mittleren OHIP-49 Summenscores um 24 Einheiten, der nach der Matrizeneinarbeitung nicht mehr so stark aber immer noch spürbar um 12 Einheiten und dabei in 6 von 7 Dimensionen des OHIP verbessert werden konnte.

Fragen zur subjektiven Zufriedenheit mit Zahnersatz können entweder durch Markierungen auf Visuell Analog Skalen (VAS) von 0 (unzufrieden) bis 100 (sehr zufrieden)<sup>5, 6, 11</sup> oder mit Intervallskalen z. B. Likert-Skalen, Schulnoten<sup>11, 39, 40, 119</sup> beantwortet werden. In der vorliegenden Studie wurde eine 5-stufige Likert-Skala verwendet, die im Vorfeld hinsichtlich Validität und Reliabilität in Deutschland überprüft wurde.<sup>107</sup> Die Likert-Skala wurde gewählt, da sie sich in anderen Instrumenten wie dem OHIP bewährt hat und gerade auch von älteren Patienten gut verstanden wird. Außerdem entspricht die Graduierung von 1 (sehr gut) bis 5 (sehr schlecht) dem deutschen Schulnotensystem.

Die guten bis sehr guten Zufriedenheitswerte mit der Prothese in der vorliegenden Studie werden bestätigt, denn nachweislich steigt die Patientenzufriedenheit in anderen longitudinalen Studien relevant an, wenn Freund-Teilprothesen mit posterioren Standard-Durchmesser Implantaten stabilisiert werden.<sup>5, 11, 33, 38, 40, 119</sup> Hohe Zufriedenheitswerte mittels VAS wurden in einer retrospektiven

Nachuntersuchung erzielt, in der Standard-Implantate zu wenigen oder ungünstig verteilten Restzähnen an strategischer Position ähnlich wie in der vorliegenden Studie inseriert wurden.<sup>6</sup> Die Hauptkriterien waren in den genannten Studien die allgemeine Zufriedenheit, Komfort, Stabilität, Hygienefähigkeit, Ästhetik und das Kauvermögen.<sup>33, 38</sup> In weiteren Studien wurde die subjektive Angabe zur Verbesserung des Kauvermögens nach strategischer Pfeilervermehrung durch die objektive Messung der Kaueffektivität mittels Testnahrung größtenteils bekräftigt.<sup>42,</sup>

43, 120

## 5.6 Röntgenologische Knochenniveauänderungen

Die Analyse der röntgenologischen Daten war problematisch, da die Beobachtungszeiten stark differierten. Bei Standard-Implantaten wird ein Knochenverlust von bis zu 1,5-2 mm im ersten Jahr nach der Insertion als akzeptabel angesehen, nach dem ersten Jahr sollte der Knochenverlust nicht mehr als 0,2 mm pro Jahr betragen.<sup>2, 65</sup> In Untersuchungen an MDI im zahnlosen Unterkiefer betrugen die mittleren Knochenabbauraten im ersten Jahr zwischen 0,4 und 1,5 mm<sup>63, 64, 66, 79, 98</sup> und im zweiten Jahr ca. 0,2-0,3 mm.<sup>64, 98</sup> In dieser Auswertung wurde der absolute Knochenabbau pro Teilnehmer durch die Beobachtungszeit pro Jahr dividiert. Das Ergebnis ist also eine Summation aus der (höheren) Knochenabbaurate im 1. Jahr und den wahrscheinlich geringeren Raten in den Folgejahren und muss vorsichtig gewertet werden.

Im Gegensatz zu einer Studie mit sofortbelasteten MDI im zahnlosen Oberkiefer, die ca. 5 mm Knochenabbau im ersten Jahr ermittelte,<sup>23</sup> gab es in der vorliegenden Auswertung keine relevanten Unterschiede zwischen die Kiefern. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der multizentrischen Beobachtungsstudie zu Knochenabbauraten von MDI in zahnlosen Kiefern, in der die Implantate im Oberkiefer nur bei hoher primärer Stabilität sofort belastet wurden und bei mehr als 50% zunächst nur eine weichbleibende Unterfütterung der Deckprothese erfolgte.<sup>66</sup>

Einige Implantate hatten in der Summation über 5 Jahre einen Knochenabbau von >3 mm. Die Ursachen für diese nicht akzeptablen hohen Zahlen als Hinweis für eine Periimplantitis lassen sich retrospektiv kaum ermitteln. Wie bei den hohen

Verlustraten im Unterkiefer schon vermutet, wurde die Hypothese überprüft, dass die teilweisen hohen Knochenabbauraten mit dem parodontalen Zustand (Sondierungstiefen) der verbliebenen Zähne assoziiert ist. Aus Studien mit Standard-Implantaten wurde dieser Zusammenhang wiederholt nachgewiesen.<sup>112, 113, 121</sup> Wegen fehlender parodontaler Baseline-Daten an den Zähnen wurde als Exposition die Sondierungstiefen der Zähne im Studienkiefer und als Zielvariable das Knochenniveau zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung in einer Mixed Model-Analyse gewählt. Der Zusammenhang zwischen hohen Sondierungstiefen und niedrigem Knochenniveau blieb trotz Adjustierung nach anderen möglichen Faktoren (Alter, Geschlecht, Rauchen) statistisch signifikant. Dies könnte ein erster Hinweis (jedoch kein Nachweis) dafür sein, dass die Ursache für die teilweise hohen Knochenabbauraten (und Verlustraten) an den MDI der manchmal schlechte parodontale Zustand der Zähne war.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zum Knochenabbau werden wie auch die anderen Daten in einer prospektiven Studie zur Pfeilervermehrung mit Miniimplantaten zurzeit verifiziert.<sup>71</sup>

## **5.7 Schlussfolgerungen**

Miniimplantate sind für die Pfeilervermehrung zur besseren Abstützung von vorhandenen Teilprothesen geeignet. Die vorliegenden mittelfristigen Ergebnisse zeigen eine hohe Akzeptanz unter den Studienteilnehmern und eine zufriedenstellende Performance hinsichtlich Implantatüberleben, Knochenabbau und Nachsorgeaufwand erkennen. Die Ursachen für höhere Verlustraten im Unterkiefer und teilweise höheren Knochenabbauraten sind unbekannt. Nicht nur deshalb sind prospektive randomisierte Untersuchungen oder Beobachtungsstudien erforderlich, um diese ersten Ergebnisse zu verifizieren.

## Zusammenfassung

**Ziel der Studie:** Es gibt nur wenige Fallberichte und keine klinischen Studien über den Einsatz von Miniimplantaten als zusätzliche Pfeiler zur besseren Abstützung von herausnehmbarem Zahnersatz. Ziel dieser retrospektiven Nachuntersuchung war es, die klinische Performance von Miniimplantaten zur Stabilisierung von herausnehmbaren Teilprothesen nach mehr als 3 Jahren Funktionsperiode in einer Zahnarztpraxis zu bewerten. Weiterhin sollten die mundgesundheitsbezogene Lebensqualität, die subjektive Zufriedenheit und sowie Knochenabbauraten ermittelt werden.

**Material und Methode:** Die forschereinitierte Studie mit dem Votum der Ethikkommission der Universität Greifswald (BB 025/13) wurde durch die Firma 3M Deutschland GmbH finanziell unterstützt. Die Patienten wurden nach ihrer schriftlichen Einverständniserklärung einbezogen, bei denen bis 2010 mindestens ein Mini Dental Implant (MDI, 3M ESPE, Seefeld, Deutschland) mit Durchmessern von 1,8, 2,1 oder 2,4 mm und Längen von 10, 13 oder 15 mm und einer Kugelkopfverankerung zur Pfeilervermehrung bei Teilprothesen inseriert wurde. Ein trainierter und erfahrener Zahnarzt führte 2013 die klinische Untersuchung durch. Nach einer Anamnese zu Erkrankungen, Mundhygiene- und Rauchgewohnheiten wurde der Zahnstatus erhoben, der die Implantatfestigkeit: Periotest (Medizintechnik Gulden, Deutschland), Resonanzfrequenzanalyse (Osstell, Göteborg, Schweden) und den Zustand der Suprakonstruktion einschloss. Zusätzlich wurde eine digitale Panoramaschichtaufnahme (PSA) erstellt, um mit dem Vermessungstool in Sidexis (Sirona, Bensheim, Deutschland) mesial und distal das Knochenniveau mit der PSA am Tag der Implantation zu vergleichen. Die Teilnehmer füllten je einen Fragebogen zur mundgesundheitsbezogene Lebensqualität (Deutsche Kurzversion des Oral Health Impact Profile (OHIP-G14) mit den Antworten 0 (nie) bis 4 (sehr oft)) und einen Bogen mit 8 Fragen zur Zufriedenheit mit der Prothese mittels einer Likert-Skala von 1-5 (sehr gut, gut, weder gut noch schlecht, schlecht, sehr schlecht) aus. Neben der deskriptiven Statistik erfolgten Analysen zum Implantat- und Zahnüberleben nach Kaplan-Meier mit Log Rank Tests zum Subgruppenvergleich, einer Cox

Regressionsanalyse zur Ermittlung von Faktoren für das Überleben und Mixed Models zur Analyse der Risikofaktoren für erhöhten Knochenabbau.

**Ergebnisse:** Von 98 Patienten betrug der Drop-out abzüglich der 28 neutralen Ausfälle (9 Verstorbene, 11 schwer Erkrankte und 8 anderenorts Verzogene) 18,6%, so dass 66 Kiefer (25 Oberkiefer) bei 57 Teilnehmern (35 Frauen) einbezogen wurden. Die Zeit zwischen Erstimplantation und Untersuchung betrug im Oberkiefer durchschnittlich  $5,5 \pm 1,8$  Jahre und im Unterkiefer  $5,3 \pm 1,9$  Jahre (Minimum: 3,1 Jahre, Maximum: 9 Jahre). Im Oberkiefer wurden zum Zeitpunkt der Erstimplantation 77 MDI inseriert und im Unterkiefer 113 MDI. Am häufigsten wurden in beiden Kiefern 2 MDI inseriert ( $n=28$ ) gefolgt von 4 ( $n=16$ ) und 3 MDI pro Kiefer ( $n=15$ ). Die MDI von 9 Oberkiefern und 11 Unterkiefern wurden sofort mit den Housings belastet, die anderen Prothesen wurden zunächst weichbleibend unterfüttert und nach 3-4 Monaten wurden die Housings in die Prothesen (ausschließlich Teleskopprothesen) einpolymerisiert. Die 5-Jahres-Überlebensrate der ursprünglich inserierten MDI betrug 97,4% (3 Verluste) im Oberkiefer versus 86,9% (13 Verluste) im Unterkiefer ( $p=0,0481$ ) und die der Zähne 88% bzw. 88,9%. Im Unterkiefer betrug die MDI-Überlebensrate bei Nichtrauchern 89,9% und bei den Rauchern 77,4% ( $p=0,1595$ ). Die Cox Regressionsanalysen ergaben keine statistisch signifikanten Effekte von möglichen Risikofaktoren für Implantatverluste (Alter, Geschlecht, Lückengebissituation, Rauchen, Diabetes mellitus, Belastungsmodus). Insgesamt wurden 40 MDI bei 18 Studienteilnehmern re- bzw. nachimplantiert. In der Prothesennachsorge wurden insgesamt 8 Mal die O-Ringe ausgetauscht, 26 Mal unterfüttert und 17 Frakturen bei 15 Prothesen repariert. Die mittleren Periotest-Werte betrugen  $5,3 \pm 5,6$  im Oberkiefer und  $6,7 \pm 6,4$  im Unterkiefer ( $p=0,078$ ) und die Osstell-Werte  $38 \pm 9,4$  im Oberkiefer und  $33 \pm 10,9$  im Unterkiefer ( $p<0,0001$ ). Der Mittelwert des OHIP-G14 Summenscore war im Oberkiefer etwas kleiner als im Unterkiefer (1,8 versus 2,2). Die Mehrzahl der Implantate zeigte entweder einen geringen jährlichen Knochenabbau von unter 0,2 mm (ca. 45%) oder sogar Knochenzuwachs (ca. 10%). Bei ca. 5-8% der Implantate war ein jährlicher Knochenabbau von mehr als 0,6 mm zu beobachten. Die Analysen zeigen einen relevanten Effekt einer höheren mittleren Sondierungstiefe an Zähnen zum Zeitpunkt

der Nachuntersuchung, die ein um ca. 0,3 mm geringeres Knochenniveau an den MDI bewirkt.

**Schlussfolgerungen:** Die vorliegenden mittelfristigen Ergebnisse zeigen eine hohe Akzeptanz der Therapieform unter den Studienteilnehmern und eine zufriedenstellende Performance hinsichtlich Implantatüberleben, Knochenabbau und Nachsorgeaufwand. Die höheren Periotest-Werte und die geringeren Osstell-Werte als bei Standardimplantaten lassen sich durch den geringeren MDI-Durchmesser erklären. Die Ursachen für höhere Verlustraten im Unterkiefer und teilweise höheren Knochenabbauraten sind unbekannt. Nicht nur deshalb sind prospektive randomisierte Untersuchungen oder Beobachtungsstudien erforderlich, um diese ersten Ergebnisse zu verifizieren.

## Summary

**Objectives:** There are few case reports and no studies on the use of mini-implants as supplementary abutments for a better support of partial removable dental prostheses (PRDPs). Therefore, it was the aim of this retrospective study to evaluate the clinical performance of mini-implants for the stabilization of PRDPs in a dental practice after at least 3 years of service. Additionally, oral health related quality of life (OHRQoL), subjective satisfaction and bone loss rates were estimated.

**Material and Methods:** This researcher-initiated study was financially supported by 3M Deutschland GmbH and was approved by the Ethics Committee of Greifswald University (BB 025/13). After their informed consent, patients that received at least one mini dental implant (MDI, 3M ESPE, Seefeld, Germany) with the diameters of 1.8, 2.1 or 2.4 mm, lengths of 10, 13 or 15 mm and a ball attachment to increase the abutment number of the PRDP until 2010 were included. A trained and experienced dentist performed the clinical examination in 2013. After obtaining the medical history, oral health behaviour and smoking habits, the dental status was assessed including implant stability using both Periotest (Medizintechnik Gulden, Germany) and resonance frequency analysis (RFA, Osstell, Goteborg, Sweden) and state of PRDP. Additionally, digital panoramic radiographs were obtained to compare the mesial and distal bone levels around each implant with the bone levels from the day of implant placement by using the measurement tool of Sidexis software (Sirona, Bensheim, Germany). The participants completed a questionnaire on the OHRQoL (German short version of the oral health impact profile OHIP-G14) with the answers 0 (never) to 4 (very often) and an 8-item questionnaire on the satisfaction with the PRDP using a Likert scale with answers from 1 to 5 (very good, good, neither good nor bad, bad, very bad). Beside the descriptive statistics, survival analyses of teeth and implants according to Kaplan-Meier were performed including Log Rank tests to compare subgroups. Factors to the implant survival were analysed using Cox regression and risk factors for bone loss were analysed using mixed models.

**Results:** The drop-out rate minus neutral losses (9 deceased, 8 migrated and 11 diseased persons) among 98 patients was 18.6%. Finally, 66 study jaws (25 maxillas) in 57 participants (35 women) were included. The mean intervals between implant

placement and examination were  $5.5 \pm 1.8$  years in the maxilla and  $5.3 \pm 1.9$  years in the mandible (minimum: 3.1 years, maximum: 9 years). At the time of initial implant placements, 77 maxillary MDIs and 113 mandibular MDIs were inserted. The most frequent MDI number per jaw was two ( $n=28$ ) followed by four ( $n=16$ ) and three ( $n=15$ ). The MDIs of 9 maxillas and 11 mandibles were immediately loaded by the female matrices ( housings). The remaining PRDPs (exclusively double crown-retained) were initially soft relined and the housings were picked-up after 3-4 months. The 5-year survival rates of the originally placed MDI were 97.4% (3 failures) in the maxilla versus 86.9% (13 failures) in the mandible ( $P=0.0481$ ) and the survival rates of the teeth were 88% and 88.9%, respectively. In the mandible, the MDI survival rate was 89.9% in non-smokers and 77.4% in smokers. The Cox regression analyses revealed no statistically significant effects of putative risk factors for implant failures (age, gender, dental status, smoking, diabetes mellitus, loading mode). A total of 40 MDIs in 18 participants were replaced or placed after further tooth loss. The prosthodontic aftercare included exchanges of the housing O-rings in 8 PRDPs, 26 PRDP relining procedures and 17 repairs in 15 PRDPs due to fractures. The Periotest values averaged  $5,3 \pm 5,6$  in the maxilla and  $6,7 \pm 6,4$  in the mandible ( $P=0,078$ ) and the RFAs yielded  $38 \pm 9,4$  in the maxilla und  $33 \pm 10,9$  in the mandible ( $P<0.0001$ ). The mean OHIP-G14 sum score of the maxilla was slightly higher than the score of the mandible (1.8 versus 2.2). The majority of MDIs showed either an annual bone loss of  $< 0.2$  mm (ca. 45%) or even bone gain (ca. 10%). In 5-8% of the implants, the bone loss was  $> 0.6$  mm. The analyses revealed a relevant effect of an increased mean probing depth of teeth at the time of the follow-up examination that resulted in a 0.3 mm decrease in the bone level at the MDIs.

**Conclusions:** The present middle-term results showed a high acceptance of this therapy mode among the study participants and a satisfying performance regarding implant survival, bone loss and aftercare maintenance. The increased Periotest values and the decreased RFA values compared with standard implants could be explained by the low diameter of the MDIs. The reasons for the increased failure rates in the mandible and the partly increased bone loss rates remained unclear. Therefore, prospective randomized trials or observational studies are required to verify the current initial results.



## Literaturverzeichnis

1. Branemark PI, Hansson BO, Adell R, Breine U, Lindstrom J, Hallen O, *et al.* Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. *Scand J Plast Reconstr Surg Suppl* 1977;16:1-132.
2. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1986;1:11-25.
3. Alsabeeha N, Atieh M, Payne AG. Loading protocols for mandibular implant overdentures: a systematic review with meta-analysis. *Clin Implant Dent Relat Res* 2010;12 Suppl 1:e28-38.
4. Schimmel M, Srinivasan M, Herrmann FR, Muller F. Loading protocols for implant-supported overdentures in the edentulous jaw: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29 Suppl:271-286.
5. Goncalves TM, Campos CH, Garcia RC. Implant retention and support for distal extension partial removable dental prostheses: satisfaction outcomes. *J Prosthet Dent* 2014;112:334-339.
6. Hug S, Mantokoudis D, Mericske-Stern R. Clinical evaluation of 3 overdenture concepts with tooth roots and implants: 2-year results. *Int J Prosthodont* 2006;19:236-243.
7. Joda T. Combined tooth-implant-supported telescopic prostheses in a midterm follow-up of > 2 years. *Int J Prosthodont* 2013;26:536-540.
8. Kaufmann R, Friedli M, Hug S, Mericske-Stern R. Removable dentures with implant support in strategic positions followed for up to 8 years. *Int J Prosthodont* 2009;22:233-241; discussion 242.
9. Krennmair G, Krainhofner M, Waldenberger O, Piehslinger E. Dental implants as strategic supplementary abutments for implant-tooth-supported telescopic crown-retained maxillary dentures: a retrospective follow-up study for up to 9 years. *Int J Prosthodont* 2007;20:617-622.
10. Schwarz S, Bernhart G, Hassel AJ, Rammelsberg P. Survival of double-crown-retained dentures either tooth-implant or solely implant-supported: an 8-year retrospective study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2014;16:618-625.
11. Wismeijer D, Tawse-Smith A, Payne AG. Multicentre prospective evaluation of implant-assisted mandibular bilateral distal extension removable partial dentures: patient satisfaction. *Clin Oral Implants Res* 2013;24:20-27.

12. Wolfart S, Moll D, Hilgers RD, Wolfart M, Kern M. Implant placement under existing removable dental prostheses and its effect on oral health-related quality of life. *Clin Oral Implants Res* 2013;24:1354-1359.
13. Klein MO, Schiegnitz E, Al-Nawas B. Systematic review on success of narrow-diameter dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29 Suppl:43-54.
14. Morneburg TR, Proschel PA. Success rates of microimplants in edentulous patients with residual ridge resorption. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008;23:270-276.
15. Sendax VI. Mini-implants as adjuncts for transitional prostheses. *Dent Implantol Update* 1996;7:12-15.
16. Bulard RA. Mini implants. Part I. A solution for loose dentures. *J Okla Dent Assoc* 2002;93:42-46.
17. Balkin BE, Steflik DE, Naval F. Mini-dental implant insertion with the auto-advance technique for ongoing applications. *J Oral Implantol* 2001;27:32-37.
18. Sussman HI, Goodridge OF. Use of SIG device to accurately place permanent miniature dental implants to retain mandibular overdenture. A case report. *N Y State Dent J* 2006;72:34-38.
19. Papadopoulos MA, Papageorgiou SN, Zogakis IP. Clinical effectiveness of orthodontic miniscrew implants: a meta-analysis. *J Dent Res* 2011;90:969-976.
20. Bidra AS, Almas K. Mini implants for definitive prosthodontic treatment: a systematic review. *J Prosthet Dent* 2013;109:156-164.
21. Park JH, Lee JY, Shin SW. Treatment Outcomes for Mandibular Mini-Implant-Retained Overdentures: A Systematic Review. *Int J Prosthodont* 2017;30:269-276.
22. Shatkin TE, Petrotto CA. Mini dental implants: a retrospective analysis of 5640 implants placed over a 12-year period. *Compend Contin Educ Dent* 2012;33 Spec 3:2-9.
23. Elsyad MA, Ghoneem NE, El-Sharkawy H. Marginal bone loss around unsplinted mini-implants supporting maxillary overdentures: a preliminary comparative study between partial and full palatal coverage. *Quintessence Int* 2013;44:45-52.
24. Preoteasa E, Imre M, Preoteasa CT. A 3-year follow-up study of overdentures retained by mini-dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29:1170-1176.

25. Mundt T, Schwahn C, Stark T, Biffar R. Clinical response of edentulous people treated with mini dental implants in nine dental practices. *Gerodontology* 2015;32:179-187.
26. Schwindling FS, Schwindling FP. Mini dental implants retaining mandibular overdentures: A dental practice-based retrospective analysis. *J Prosthodont Res* 2016;60:193-198.
27. Shatkin TE, Shatkin S, Oppenheimer BD, Oppenheimer AJ. Mini dental implants for long-term fixed and removable prosthetics: a retrospective analysis of 2514 implants placed over a five-year period. *Compend Contin Educ Dent* 2007;28:92-99; quiz 100-101.
28. Doundoulakis JH, Eckert SE, Lindquist CC, Jeffcoat MK. The implant-supported overdenture as an alternative to the complete mandibular denture. *J Am Dent Assoc* 2003;134:1455-1458.
29. Naert I, Alsaadi G, Quirynen M. Prosthetic aspects and patient satisfaction with two-implant-retained mandibular overdentures: a 10-year randomized clinical study. *Int J Prosthodont* 2004;17:401-410.
30. Buttel AE, Gratwohl DA, Sendi P, Marinello CP. Immediate loading of two unsplinted mandibular implants in edentulous patients with an implant-retained overdenture: an observational study over two years. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2012;122:392-397.
31. Bernhart G, Koob A, Schmitter M, Gabbert O, Stober T, Rammelsberg P. Clinical success of implant-supported and tooth-implant-supported double crown-retained dentures. *Clin Oral Investig* 2012;16:1031-1037.
32. Campos CH, Goncalves TM, Rodrigues Garcia RC. Implant retainers for free-end removable partial dentures affect mastication and nutrient intake. *Clin Oral Implants Res* 2014;25:957-961.
33. de Freitas RF, de Carvalho Dias K, da Fonte Porto Carreiro A, Barbosa GA, Ferreira MA. Mandibular implant-supported removable partial denture with distal extension: a systematic review. *J Oral Rehabil* 2012;39:791-798.
34. Frisch E, Ratka-Kruger P, Wenz HJ. Unsplinted implants and teeth supporting maxillary removable partial dentures retained by telescopic crowns: a retrospective study with >6 years of follow-up. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:1091-1097.
35. Nickenig HJ, Spiekermann H, Wichmann M, Andreas SK, Eitner S. Survival and complication rates of combined tooth-implant-supported fixed and removable partial dentures. *Int J Prosthodont* 2008;21:131-137.

36. Rammelsberg P, Bernhart G, Lorenzo Bermejo J, Schmitter M, Schwarz S. Prognosis of implants and abutment teeth under combined tooth-implant-supported and solely implant-supported double-crown-retained removable dental prostheses. *Clin Oral Implants Res* 2014;25:813-818.
37. Rinke S, Ziebolz D, Ratka-Kruger P, Frisch E. Clinical Outcome of Double Crown-Retained Mandibular Removable Dentures Supported by a Combination of Residual Teeth and Strategic Implants. *J Prosthodont* 2015;24:358-365.
38. Zancoppe K, Abrao GM, Karam FK, Neves FD. Placement of a distal implant to convert a mandibular removable Kennedy class I to an implant-supported partial removable Class III dental prosthesis: A systematic review. *J Prosthet Dent* 2015;113:528-533 e523.
39. Mitrani R, Brudvik JS, Phillips KM. Posterior implants for distal extension removable prostheses: a retrospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23:353-359.
40. Bortolini S, Natali A, Franchi M, Coggiola A, Consolo U. Implant-retained removable partial dentures: an 8-year retrospective study. *J Prosthodont* 2011;20:168-172.
41. Gates WD, 3rd, Cooper LF, Sanders AE, Reside GJ, De Kok IJ. The effect of implant-supported removable partial dentures on oral health quality of life. *Clin Oral Implants Res* 2014;25:207-213.
42. Goncalves TM, Campos CH, Goncalves GM, de Moraes M, Rodrigues Garcia RC. Mastication improvement after partial implant-supported prosthesis use. *J Dent Res* 2013;92:189S-194S.
43. Wolfart S, Wolf K, Brunzel S, Wolfart M, Caliebe A, Kern M. Implant placement under existing removable dental prostheses and its effect on masticatory performance. *Clin Oral Investig* 2016;20:2447-2455.
44. Hasan I, Bourauel C, Mundt T, Stark H, Heinemann F. Biomechanics and load resistance of small-diameter and mini dental implants: a review of literature. *Biomed Tech (Berl)* 2014;59:1-5.
45. Javed F, Ahmed HB, Crespi R, Romanos GE. Role of primary stability for successful osseointegration of dental implants: Factors of influence and evaluation. *Interv Med Appl Sci* 2013;5:162-167.
46. Shadid RM, Sadaqah NR, Othman SA. Does the Implant Surgical Technique Affect the Primary and/or Secondary Stability of Dental Implants? A Systematic Review. *Int J Dent* 2014;2014:204838.
47. Heinemann F, Hasan I, Bourauel C, Biffar R, Mundt T. Bone stability around dental implants: Treatment related factors. *Ann Anat* 2015;199:3-8.

48. Tseng YC, Hsieh CH, Chen CH, Shen YS, Huang IY, Chen CM. The application of mini-implants for orthodontic anchorage. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2006;35:704-707.
49. Cehreli MC, Karasoy D, Akca K, Eckert SE. Meta-analysis of methods used to assess implant stability. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24:1015-1032.
50. Aparicio C, Lang NP, Rangert B. Validity and clinical significance of biomechanical testing of implant/bone interface. *Clin Oral Implants Res* 2006;17 Suppl 2:2-7.
51. Oh JS, Kim SG. Clinical study of the relationship between implant stability measurements using Periotest and Osstell mentor and bone quality assessment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2012;113:e35-40.
52. Lekholm U, Zarb GA. Patient selection and preparation. In: Branemark PI, Zarb G, Albrektsson T, editors. *Tissue-integrated prostheses: osseointegration in clinical dentistry*. Chicago: Qunintessence; 1985.
53. Wentaschek S, Scheller H, Schmidtman I, Hartmann S, Weyhrauch M, Weibrich G, *et al.* Sensitivity and Specificity of Stability Criteria for Immediately Loaded Splinted Maxillary Implants. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015;17 Suppl 2:e542-549.
54. Ghoul WE, Chidiac JJ. Prosthetic requirements for immediate implant loading: a review. *J Prosthodont* 2012;21:141-154.
55. Strub JR, Jurdzik BA, Tuna T. Prognosis of immediately loaded implants and their restorations: a systematic literature review. *J Oral Rehabil* 2012;39:704-717.
56. Esposito M, Grusovin MG, Maghaireh H, Worthington HV. Interventions for replacing missing teeth: different times for loading dental implants. *Cochrane Database Syst Rev* 2013;CD003878.
57. Sanz-Sanchez I, Sanz-Martin I, Figuero E, Sanz M. Clinical efficacy of immediate implant loading protocols compared to conventional loading depending on the type of the restoration: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:964-982.
58. Gallucci GO, Benic GI, Eckert SE, Papaspyridakos P, Schimmel M, Schrott A, *et al.* Consensus statements and clinical recommendations for implant loading protocols. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29 Suppl:287-290.
59. Goiato MC, Bannwart LC, Pesqueira AA, Santos DM, Haddad MF, Santos MR, *et al.* Immediate loading of overdentures: systematic review. *Oral Maxillofac Surg* 2014;18:259-264.

60. Fuh LJ, Huang HL, Chen CS, Fu KL, Shen YW, Tu MG, *et al.* Variations in bone density at dental implant sites in different regions of the jawbone. *J Oral Rehabil* 2010;37:346-351.
61. Suarez F, Chan HL, Monje A, Galindo-Moreno P, Wang HL. Effect of the timing of restoration on implant marginal bone loss: a systematic review. *J Periodontol* 2013;84:159-169.
62. Albrektsson T, Buser D, Sennerby L. On crestal/marginal bone loss around dental implants. *Int J Prosthodont* 2012;25:320-322.
63. Scepanovic M, Todorovic A, Markovic A, Patrnogic V, Milicic B, Moufti AM, *et al.* Immediately loaded mini dental implants as overdenture retainers: 1-Year cohort study of implant stability and peri-implant marginal bone level. *Ann Anat* 2015;199:85-91.
64. Elsyad MA, Gebreel AA, Fouad MM, Elshoukouki AH. The clinical and radiographic outcome of immediately loaded mini implants supporting a mandibular overdenture. A 3-year prospective study. *J Oral Rehabil* 2011;38:827-834.
65. Galindo-Moreno P, Leon-Cano A, Ortega-Oller I, Monje A, O'Valle F, Catena A. Marginal bone loss as success criterion in implant dentistry: beyond 2 mm. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:e28-34.
66. Mundt T, Schwahn C, Biffar R, Heinemann F. Changes in Bone Levels Around Mini-Implants in Edentulous Arches. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2015;30:1149-1155.
67. Akesson L, Hakansson J, Rohlin M. Comparison of panoramic and intraoral radiography and pocket probing for the measurement of the marginal bone level. *J Clin Periodontol* 1992;19:326-332.
68. Kullman L, Al-Asfour A, Zetterqvist L, Andersson L. Comparison of radiographic bone height assessments in panoramic and intraoral radiographs of implant patients. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2007;22:96-100.
69. Flanagan D, Mascolo A. The mini dental implant in fixed and removable prosthetics: a review. *J Oral Implantol* 2011;37 Spec No:123-132.
70. Christensen GJ. The increased use of small-diameter implants. *J Am Dent Assoc* 2009;140:709-712.
71. Mundt T, Al Jaghsi A, Schwahn B, Hilgert J, Lucas C, Biffar R, *et al.* Immediate versus delayed loading of strategic mini dental implants for the stabilization of partial removable dental prostheses: a patient cluster randomized, parallel-group 3-year trial. *BMC Oral Health* 2016;17:30.

72. Ribeiro AB, Della Vecchia MP, Cunha TR, Sorgini DB, Dos Reis AC, Muglia VA, *et al.* Short-term post-operative pain and discomfort following insertion of mini-implants for retaining mandibular overdentures: a randomized controlled trial. *J Oral Rehabil* 2015;42:605-614.
73. Griffiths TM, Collins CP, Collins PC. Mini dental implants: an adjunct for retention, stability, and comfort for the edentulous patient. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005;100:e81-84.
74. Tomasi C, Idmyr BO, Wennstrom JL. Patient satisfaction with mini-implant stabilised full dentures. A 1-year prospective study. *J Oral Rehabil* 2013;40:526-534.
75. Misch K, Neiva R. Small-diameter implants for optimal stabilization of implant-supported overdentures. *Pract Proced Aesthet Dent* 2007;19:428-431.
76. Preoteasa E, Melescanu-Imre M, Preoteasa CT, Marin M, Lerner H. Aspects of oral morphology as decision factors in mini-implant supported overdenture. *Rom J Morphol Embryol* 2010;51:309-314.
77. Kumari P, Verma M, Sainia V, Gupta A, Gupta R, Gill S. Mini-Implants, Mega Solutions: A Case Series. *J Prosthodont* 2015.
78. Aunmeungtong W, Kumchai T, Strietzel FP, Reichart PA, Khongkhunthian P. Comparative Clinical Study of Conventional Dental Implants and Mini Dental Implants for Mandibular Overdentures: A Randomized Clinical Trial. *Clin Implant Dent Relat Res* 2017;19:328-340.
79. de Souza RF, Ribeiro AB, Della Vecchia MP, Costa L, Cunha TR, Reis AC, *et al.* Mini vs. Standard Implants for Mandibular Overdentures: A Randomized Trial. *J Dent Res* 2015;94:1376-1384.
80. Jawad S, Barclay C, Whittaker W, Tickle M, Walsh T. A pilot randomised controlled trial evaluating mini and conventional implant retained dentures on the function and quality of life of patients with an edentulous mandible. *BMC Oral Health* 2017;17:53.
81. Jofre J, Conrady Y, Carrasco C. Survival of splinted mini-implants after contamination with stainless steel. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2010;25:351-356.
82. Lemos CA, Verri FR, Batista VE, Junior JF, Mello CC, Pellizzer EP. Complete overdentures retained by mini implants: A systematic review. *J Dent* 2017;57:4-13.
83. Bulard RA, Vance JB. Multi-clinic evaluation using mini-dental implants for long-term denture stabilization: a preliminary biometric evaluation. *Compend Contin Educ Dent* 2005;26:892-897.

84. Misch CE. Density of bone: effect on treatment plans, surgical approach, healing, and progressive bone loading. *Int J Oral Implantol* 1990;6:23-31.
85. Scepanovic M, Calvo-Guirado JL, Markovic A, Delgado-Ruiz R, Todorovic A, Milicic B, *et al.* A 1-year prospective cohort study on mandibular overdentures retained by mini dental implants. *Eur J Oral Implantol* 2012;5:367-379.
86. Maryod WH, Ali SM, Shawky AF. Immediate versus early loading of mini-implants supporting mandibular overdentures: a preliminary 3-year clinical outcome report. *Int J Prosthodont* 2014;27:553-560.
87. Sohrabi K, Mushantat A, Esfandiari S, Feine J. How successful are small-diameter implants? A literature review. *Clin Oral Implants Res* 2012;23:515-525.
88. Catalan A, Martinez A, Marchesani F, Gonzalez U. Mandibular Overdentures Retained by Two Mini-Implants: A Seven-Year Retention and Satisfaction Study. *J Prosthodont* 2016;25:364-670.
89. Enkling N, Saftig M, Worni A, Mericske-Stern R, Schimmel M. Chewing efficiency, bite force and oral health-related quality of life with narrow diameter implants - a prospective clinical study: results after one year. *Clin Oral Implants Res* 2017;28:476-482.
90. Mangano FG, Caprioglio A, Levrini L, Farronato D, Zecca PA, Mangano C. Immediate loading of mandibular overdentures supported by one-piece, direct metal laser sintering mini-implants: a short-term prospective clinical study. *J Periodontol* 2015;86:192-200.
91. Temizel S, Heinemann F, Dirk C, Bourauel C, Hasan I. Clinical and radiological investigations of mandibular overdentures supported by conventional or mini-dental implants: A 2-year prospective follow-up study. *J Prosthet Dent* 2017;117:239-246 e232.
92. Zygogiannis K, Wismeijer D, Parsa A. A Pilot Study on Mandibular Overdentures Retained By Mini Dental Implants: Marginal Bone Level Changes and Patient-Based Ratings of Clinical Outcome. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2016;31:1171-1178.
93. Batisse C, Bonnet G, Bessadet M, Veyrune JL, Hennequin M, Peyron MA, *et al.* Stabilization of mandibular complete dentures by four mini implants: Impact on masticatory function. *J Dent* 2016;50:43-50.
94. Hasan I, Madarlis C, Keilig L, Dirk C, Weber A, Bourauel C, *et al.* Changes in biting forces with implant-supported overdenture in the lower jaw: A comparison between conventional and mini implants in a pilot study. *Ann Anat* 2016;208:116-122.



95. Omran M, Abdelhamid A, Elkarargy A, Sallom M. Mini-implant overdenture versus conventional implant overdenture (A radiographic and clinical assessment). *J Am Sci* 2013;9:89-97.
96. Cho SC, Froum S, Tai CH, Cho YS, Elian N, Tarnow DP. Immediate loading of narrow-diameter implants with overdentures in severely atrophic mandibles. *Pract Proced Aesthet Dent* 2007;19:167-174.
97. Jofre J, Cendoya P, Munoz P. Effect of splinting mini-implants on marginal bone loss: a biomechanical model and clinical randomized study with mandibular overdentures. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2010;25:1137-1144.
98. Jofre J, Hamada T, Nishimura M, Klattenhoff C. The effect of maximum bite force on marginal bone loss of mini-implants supporting a mandibular overdenture: a randomized controlled trial. *Clin Oral Implants Res* 2010;21:243-249.
99. Elsyad MA. Patient satisfaction and prosthetic aspects with mini-implants retained mandibular overdentures. A 5-year prospective study. *Clin Oral Implants Res* 2016;27:926-933.
100. Persic S, Celic R, Vojvodic D, Petricevic N, Kranjcic J, Zlataric DK, *et al.* Oral Health-Related Quality of Life in Different Types of Mandibular Implant Overdentures in Function Longer Than 3 Years. *Int J Prosthodont* 2016;29:28-30.
101. Mundt T, Heinemann F, Stark T, Schwahn C, Biffar R. Verlustanalyse von Mini-Implantaten zur Fixierung totaler Prothesen. *Dtsch Zahnärztl Z* 2014;69:262-270.
102. Dhaliwal JS, Albuquerque RF, Jr., Fakhry A, Kaur S, Feine JS. Customized SmartPeg for measurement of resonance frequency of mini dental implants. *Int J Implant Dent* 2017;3:4.
103. John MT, Feuerstahler L, Waller N, Baba K, Larsson P, Celebic A, *et al.* Confirmatory factor analysis of the Oral Health Impact Profile. *J Oral Rehabil* 2014;41:644-652.
104. Mundt T, Lucas C, Biffar R, Heinemann F. Stabilisierung von Teilprothesen mit Mini-Implantaten - 2 Fallberichte. *Dtsch Zahnärztl Z* 2015;70:416-424.
105. John MT, LeResche L, Koepsell TD, Hujoel P, Miglioretti DL, Micheelis W. Oral health-related quality of life in Germany. *Eur J Oral Sci* 2003;111:483-491.
106. John MT, Micheelis W, Biffar R. [Reference values in oral health-related quality of life for the abbreviated version of the Oral Health Impact Profile]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2004;114:784-791.

107. Al Jaghsi A, Mundt T, Kohlmann T, Samietz S, Daboul A, Klinker T, *et al.* Development and testing of satisfaction questionnaires for patients with removable dental prostheses. *Quintessence Int* 2017;48:487-496.
108. Muller F, Naharro M, Carlsson GE. What are the prevalence and incidence of tooth loss in the adult and elderly population in Europe? *Clin Oral Implants Res* 2007;18 Suppl 3:2-14.
109. Mundt T, Polzer I, Samietz S, Grabe HJ, Doren M, Schwarz S, *et al.* Gender-dependent associations between socioeconomic status and tooth loss in working age people in the Study of Health in Pomerania (SHIP), Germany. *Community Dent Oral Epidemiol* 2011;39:398-408.
110. Szentpetery V, Lautenschlager C, Setz JM. Frictional telescopic crowns in severely reduced dentitions: a 5-year clinical outcome study. *Int J Prosthodont* 2012;25:217-220.
111. Walter MH, Hannak W, Kern M, Mundt T, Gernet W, Weber A, *et al.* The randomized shortened dental arch study: tooth loss over five years. *Clin Oral Investig* 2013;17:877-886.
112. Gelman A, Hill J. *Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models*. Cambridge: Cambridge University Press; 2007.
113. Mombelli A, Muller N, Cionca N. The epidemiology of peri-implantitis. *Clin Oral Implants Res* 2012;23 Suppl 6:67-76.
114. Gelman A, Carlin J. Beyond Power Calculations: Assessing Type S (Sign) and Type M (Magnitude) Errors. *Perspect Psychol Sci* 2014;9:641-651.
115. Gerber JA, Tan WC, Balmer TE, Salvi GE, Lang NP. Bleeding on probing and pocket probing depth in relation to probing pressure and mucosal health around oral implants. *Clin Oral Implants Res* 2009;20:75-78.
116. Lang NP, Wetzel AC, Stich H, Caffesse RG. Histologic probe penetration in healthy and inflamed peri-implant tissues. *Clin Oral Implants Res* 1994;5:191-201.
117. Gotzsche PC. [Better reporting of harms in randomized trials: an extension of the CONSORT statement]. *Ugeskr Laeger* 2005;167:1520-1522.
118. Oh JS, Kim SG, Lim SC, Ong JL. A comparative study of two noninvasive techniques to evaluate implant stability: Periotest and Osstell Mentor. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009;107:513-518.
119. Mijiritsky E, Lorean A, Mazor Z, Levin L. Implant Tooth-Supported Removable Partial Denture with at Least 15-Year Long-Term Follow-Up. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015;17:917-922.

120. Campos CH, Goncalves TM, Garcia RC. Implant-Supported Removable Partial Denture Improves the Quality of Life of Patients with Extreme Tooth Loss. *Braz Dent J* 2015;26:463-467.
121. Friedman LM, Furberg CD, DeMets DL, Reboussin DM, Granger CB. *Fundamentals of Clinical Trials*. 5th ed. Heidelberg: Springer; 2015.

## Anlagen

### Anamnesebogen (Vorgeschichte)

Kontrolldatum: \_\_\_\_\_ Nr.: \_\_\_\_\_

Sehr geehrte Frau Patientin, sehr geehrter Herr Patient,

Krankheiten aller Art können Auswirkungen auf die zahnärztliche Behandlung haben. Dieser Fragebogen dient dazu, Ihren Gesundheitszustand in Bezug auf unsere Studie zu erfassen. Die von Ihnen gemachten Angaben unterliegen selbstverständlich der ärztlichen Schweigepflicht. Bei Fragen wenden Sie sich bitte an den Untersucher/die Untersucherin, an Ihren Zahnarzt.....oder einer seiner MitarbeiterInnen.

#### Welche der nachstehend aufgeführten Erkrankungen sind bei Ihnen bekannt?

	Nein	Ja	Bemerkung
Herz- und/oder Kreislauferkrankungen (Bluthochdruck, Herzfehler, Herzrhythmus-störungen, künstliche Herzklappen etc.)			
Blutgerinnungsstörungen Blutgerinnungshemmende Medikamente			
Krampfanfälle/Epilepsie			
Diabetes/Zuckerkrankheit			
Überempfindlichkeit (Allergie/Asthma)			
Infektionskrankheiten (Tbc, HIV, Hepatitis)			
Rheuma oder andere Autoimmunerkrankungen			
Tumorerkrankungen			
Sonstige Allgemeinerkrankungen (Blut, Magen, Darm, Schilddrüse, Leber, Niere)			
Haben Sie jemals oder nehmen Sie zurzeit Bisphosphonate ein?			
Sind Sie wegen einer Erkrankung in ständiger ärztlicher Betreuung?			

Nehmen Sie ständig Medikamente ein, wenn ja, welche?			1.
			2.
			3.
			4.
			5.
			6.
			7.
			...

Bitte umblättern!

Da Rauchen das Risiko für Implantatverluste und für Zahnfleischerkrankungen nachgewiesenermaßen erhöht, bitten wir Sie, auch zu folgenden Fragen Stellung zu nehmen.

**R1. Rauchen Sie zurzeit, wenn ja wieviel?**

☐ nein (Bitte weiter mit Frage R3)

☐ ja \_\_\_\_\_ Zigaretten/Zigarren/Pfeifen\* pro Tag \*Zutreffendes unterstreichen

**R2. Seit wann rauchen Sie? Bitte geben Sie das Lebensjahr an!**

Seit ca. dem \_\_\_\_ Lebensjahr. (Bitte weiter mit Frage H1)

**R3. Haben Sie jemals geraucht, wenn ja wieviel? \*Zutreffendes unterstreichen**

☐ nein (Bitte weiter mit Frage H1)

☐ ja \_\_\_\_\_ Zigaretten/Zigarren/Pfeifen\* pro Tag

**R4. In welchem Alter haben Sie mit dem Rauchen begonnen und in welchem aufgehört?**

Ich habe mit ca. \_\_\_\_ Jahren begonnen und mit \_\_\_\_ Jahren mit dem Rauchen aufgehört.

Auch das Mundgesundheitsverhalten spielt für die Zahn- bzw. Implantatgesundheit eine große Rolle. Deswegen bitten wir Sie, uns auch die folgenden Fragen abschließend zu beantworten.

**H1. Die Menschen putzen sich unterschiedlich oft die Zähne bzw. Implantate.**

**Wie oft putzen Sie sich gewöhnlich die Implantate und Zähne?**

☐ mindestens 3mal täglich

☐ normalerweise 2mal täglich

☐ normalerweise 1mal täglich

☐ weniger als 1mal täglich

**H2. Verwenden Sie außer Handzahnbürste und Zahnpaste andere Hilfsmittel zum Putzen im Mund?**

☐ nein

☐ ja, nämlich:

☐ elektrische Zahnbürste

☐ Munddusche

☐ Access-Zahnbürste der Implantatfirma

☐ andere: .....

**H5 Wie häufig suchen Sie seit der Implantation Ihren Zahnarzt für Kontrollen Ihrer Implantate und des Zahnersatzes auf?**

☐ mindestens jährlich

☐ mindestens halbjährlich

☐ eher sporadisch

☐ eigentlich nie, nur bei Beschwerden/Problemen mit den Implantaten oder dem Zahnersatz

**H6 Werden die Implantate durch Ihre(n) Zahnarzt/ärztin oder durch eine seiner/ihrer Mitarbeiterinnen regelmäßig gereinigt?**

☐ ja (weiter mit Frage H7)

☐ nein (Frage H7 muss nicht mehr beantwortet werden)

**H7 Wenn ja, wie häufig werden die Implantate gereinigt?**

☐ jährlich

☐ mindestens halbjährlich

☐ bei Bedarf (wenn Beläge an den Implantaten zu finden sind)

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8
Mobilität																
Periotest																
Osstell																
mod. PI																
mod. SBI																
Sondierungstiefen																

BOP+/-																
	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8
BOP+/-																
Sondierungstiefen																
mod. SBI																
mod. PI																
Ostell																
Periotest																
Mobilität																
	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8



Besonderheiten

Implantate/Zähne: \_\_\_\_\_

---

---

**Oberkiefer Suprakonstruktion (Ausschließlich Studienkiefer!)** \* Zutreffendes ankreuzen

- ☐ Kunststoffprothese ☐ Modelleinstückguss ☐ Doppelkronen ☐ Geschiebe ☐ Steg  
– ☐ Kombination aus \_\_\_\_\_

Halt: ☐ kein ☐ gering ☐ fest ☐ sehr fest ☐ nicht ausgliederbar

Prothesenhygiene ☐ Romeo ☐ Sierra ☐ Tango ☐ Victor

Besonderheiten (Reparaturnotwendigkeit, Unterfütterungsnotwendigkeit, Defekte, Frakturen, Sprünge etc.):

---

---

**Unterkiefer Suprakonstruktion (Ausschließlich Studienkiefer!)** \* Zutreffendes ankreuzen

- ☐ Kunststoffprothese ☐ Modelleinstückguss ☐ Doppelkronen ☐ Geschiebe ☐ Steg  
– ☐ Kombination aus \_\_\_\_\_

Halt: ☐ kein ☐ gering ☐ fest ☐ sehr fest ☐ nicht ausgliederbar

Prothesenhygiene ☐ Romeo ☐ Sierra ☐ Tango ☐ Victor

Besonderheiten (Reparaturnotwendigkeit, Unterfütterungsnotwendigkeit, Defekte, Frakturen, Sprünge etc.):

---

---

### Zufriedenheit mit dem Zahnersatz im Oberkiefer

Name: \_\_\_\_\_ Vorname: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_ Nr: \_\_\_\_\_

Dieser Fragebogen ist ein Instrument, um Aussagen von Ihnen zur Zufriedenheit mit ihrem Zahnersatz zu erhalten.

	sehr gut	gut	weder gut noch schlecht	schlecht	sehr schlecht
1. Wie ist die Zufriedenheit mit dem Zahnersatz im Oberkiefer?					
2. Wie sicher hält Ihr Zahnersatz im Oberkiefer? (Anmerkung Bewegung abwärts)					
3. Wie sicher liegt Ihr Zahnersatz im Oberkiefer? (Anmerkung Bewegung hin und her)					
4. Wie gut belastbar ist Ihr Zahnersatz im Oberkiefer? (Anmerkung beim Zusammenbeißen )					
5. Wenn Sie an das Sprechen denken, wie zufrieden sind Sie mit Ihrem Zahnersatz im Oberkiefer?					
6. Wenn Sie an das Essen denken, wie zufrieden sind Sie mit Ihrem Zahnersatz im Oberkiefer?					
7. Wenn Sie an Ihr Aussehen denken, wie zufrieden sind Sie mit Ihrem Zahnersatz im Oberkiefer?					
8. Wenn Sie an die Reinigbarkeit denken, wie zufrieden sind Sie mit Ihrem Zahnersatz im Oberkiefer?					

### Zufriedenheit mit dem Zahnersatz im Unterkiefer

Name: \_\_\_\_\_ Vorname: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_ Nr: \_\_\_\_\_

Dieser Fragebogen ist ein Instrument, um Aussagen von Ihnen zur Zufriedenheit mit ihrem Zahnersatz zu erhalten.

	sehr gut	gut	weder gut noch schlecht	schlecht	sehr schlecht
1. Wie ist die Zufriedenheit mit dem Zahnersatz im Unterkiefer?					
2. Wie sicher hält Ihr Zahnersatz im Unterkiefer? (Anmerkung Bewegung aufwärts)					
3. Wie sicher liegt Ihr Zahnersatz im Unterkiefer? (Anmerkung Bewegung hin und her)					
4. Wie gut belastbar ist Ihr Zahnersatz im Unterkiefer? (Anmerkung beim Zusammenbeißen )					
5. Wenn Sie an das Sprechen denken, wie zufrieden sind Sie mit Ihrem Zahnersatz im Unterkiefer?					
6. Wenn Sie an das Essen denken, wie zufrieden sind Sie mit Ihrem Zahnersatz im Unterkiefer?					
7. Wenn Sie an Ihr Aussehen denken, wie zufrieden sind Sie mit Ihrem Zahnersatz im Unterkiefer?					
8. Wenn Sie an die Reinigbarkeit denken, wie zufrieden sind Sie mit Ihrem Zahnersatz im Unterkiefer?					



**Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät, keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe, und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

---

Datum

Unterschrift

**Danksagung**

Bedanken möchte ich mich bei der Firma 3M ESPE für die finanzielle Unterstützung dieser Studie und für die Bereitstellung der verwendeten Materialien.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. T. Mundt für die fachliche Hilfestellung bei der Bearbeitung des Themas, der freundlichen Unterstützung bei der Ausführung der Untersuchungen und die vielen richtungsweisenden Ratschläge.

Herrn Dr. Ch. Schwahn danke ich für seine Hilfe bei der statistischen Aufbereitung der Daten und ihrer Analyse.